



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES BIOLÓGICOS POTENCIALES  
PARA EL JAGUAR (*PANTHERA ONCA*)  
EN SIERRA ABRA TANCHIPA, SAN LUÍS POTOSÍ Y SUS LÍMITES  
ESTATALES.

GMELINA DUEÑAS LOPEZ

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis titulada: **"Identificación de corredores biológicos potenciales para el jaguar (*Panthera onca*), en Sierra Abra Tanchipa, San Luis Potosí y sus límites estatales"** realizada por la alumna: Gmelina Dueñas López bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

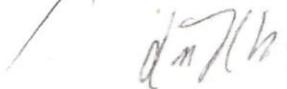
MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
DR. OCTAVIO C. ROSAS ROSAS

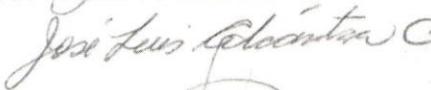
DIRECTOR DE TESIS

  
\_\_\_\_\_  
DR. LEONARDO CHAPA VARGAS (IPICYT)

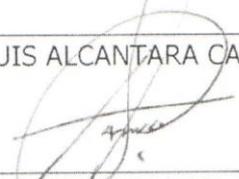
ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. JUAN FELIPE MARTÍNEZ MONTOYA

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSE LUIS ALCANTARA CARBAJAL

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. LUIS ANTONIO TARANGO ARÁMBULA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio 2013

**“Identificación De Corredores Biológicos Potenciales Para El Jaguar (*Panthera onca*), En Sierra Abra Tanchipa, San Luis Potosí y sus Límites Estatales”**

**Gmelina Dueñas López, M en C.**

**Colegio de Postgraduados, 2013**

Los jaguares (*Panthera onca*) debido a sus amplios ámbitos hogareños son susceptibles a los efectos de la fragmentación. Para disminuir tales efectos, los corredores biológicos han sido propuestos como una herramienta para conectar poblaciones aisladas. La Sierra Madre Oriental (SMO) es una unidad de conservación para los jaguares que se considera con baja probabilidad de sostener poblaciones. Se identificaron corredores biológicos potenciales para el jaguar dentro de la SMO, por medio de técnicas de reconocimiento espacial. Mediante el algoritmo Maxent se identificaron parches de hábitat potencial, y a partir del Proceso Jerárquico Analítico y la Combinación Lineal Ponderada se generó una matriz de resistencia. El modelo con los corredores potencialmente viables para el desplazamiento del jaguar en la zona se obtuvo con el algoritmo Rutas de Menor Costo. Se identificaron 581 parches con hábitat potencial altamente adecuado para el jaguar. Donde tres de estos son mayores a 100km<sup>2</sup>, y son considerados de tipo fundamental. La matriz de resistencia se compone en 3% de zonas con bajo costo, 49% de zonas con costo medio y 48% de zonas con alto costo. El estado de Hidalgo presenta el mayor número de parches tipo “stepping-stone”. El análisis de las rutas de menor costo mostró la existencia de corredores significativos que inician en el sur de San Luis Potosí y llegan al norte de Puebla. Es probable que la SMO no esté aislada del resto de la distribución del jaguar.

**Palabras clave:** *Dispersión, SIG, Rutas de menor costo, stepping-stone*

**Identification of biological corridors for jaguars (*Panthera onca*), in the Abra  
Tanchipa, San Luis Potosí and limits state**

**Gmelina Dueñas López, M en C.**

**Colegio de Postgraduados, 2013**

The Jaguar (*Panthera onca*) due to its large home range is susceptible to the effects of fragmentation. To reduce these effects, biological corridors have been proposed as a tool to connect isolated populations. The Sierra Madre Oriental (SMO) is a unit for conservation of jaguar populations. Through spatial recognition techniques, we identified potential corridors for Jaguars in the SMO,. Habitat patches were located by the Maxent algorithm. Then, a resistance matrix was generated using the Analytical Hierarchy Process and a weighted linear combination. The model with potentially viable corridors for jaguar movement in the area was obtained with the lowest cost routes algorithm. We identified 581 potential highly suitable habitat patches for the Jaguar. Of these, 3 were > 100 km<sup>2</sup> and thus met the criteria for fundamental patches. The resistance matrix consists of 3% of low cost areas, as well as 49% and 48% of intermediate and high cost areas. We found the majority of stepping-stone type patches in Hidalgo. The analysis of the least cost path showed the existence of a main corridor that starts in southern San Luis Potosi and reaches the northern portion of Puebla. SMO is likely not isolated from the rest of the distributional range of the jaguar.

**Keywords:** Dispersion, GIS, least cost path, stepping-stone

*Dedicada*

*A la familia Téllez – López,  
Por su inmenso apoyo y cariño*

## *Agradecimientos*

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS), por permitir mi superación y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por financiar mis estudios.

Al Dr. Octavio Cesar Rosas Rosas por permitirme ser su estudiante y darme la oportunidad de desarrollar mi investigación en el tema de mi interés, pero sobre todo por el apoyo y la confianza que me ha brindado.

Al Dr. Raúl Valdez, por haberme impulsado a iniciar este proyecto, para seguir preparamo en mi vida académica.

Al Dr. Luis Antonio Tarango Arámbula, miembro de mi consejo particular por su apoyo como profesor, pero también por todo el apoyo que me brindo desde el primer día que me presente como estudiante dentro del programa de fauna.

A mis asesores Doctores; Juan Felipe Martínez Monotoya y José Luis Alcántara Carbajal. Así mismo al Dr. Leonardo Chapa director de esta tesis por sus acertados comentarios en la realización de la misma.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias, tanto dentro como fuera de un aula. Especialmente a los Doctores Louis Bender, René Valdez, Ángel Bustamante y Alejandra Olivera, por todo el apoyo que me brindaron para poder realizar y concluir satisfactoriamente este trabajo.

Al personal administrativo de los Campus Montecillo, San Luis Potosí y Puebla, por facilitar mi estancia en cada uno de éstos.

A mis compañeros y ahora amigos que juntos compartimos la experiencia de cursar el postgrado como parte de nuestra formación profesional, les doy las gracias por sus consejos y apoyo ya que sin ellos, hubiese sido muy pesado concluir este trabajo.

A mi familia por su puesto por ser mi inspiración para seguir adelante, y sobre todo porque los quiero mucho.

A tod@s infinitas gracias por permitirme ser una mejor persona.

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....  | 1  |
| 1.1 Introducción.....  | 1  |
| 1.2 Objetivo General.....  | 3  |
| 1.3 Hipótesis General .....  | 3  |
| 1.4 Meta .....   | 3  |
| 1.5 Corredores biológicos.....   | 3  |
| 1.6 Modelado espacial de áreas aptas para la distribución potencial .....                                      | 7  |
| 1.8 Literatura citada.....   | 11 |
| <b>CAPITULO II. APTITUD DE ÁREAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE<br/>CORREDORES BIOLÓGICOS PARA EL JAGUAR</b> ..... | 15 |
| 2.1 Introducción.....  | 15 |
| 2.2 Objetivos.....   | 17 |
| 2.3 Método.....  | 17 |
| 2.4 Resultados.....  | 25 |
| 2.5 Discusión .....  | 30 |
| 2.6 Conclusión.....  | 33 |
| 2. 7 Literatura citada.....  | 34 |
| <b>CAPITULO III. IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES BIOLÓGICOS PARA<br/>JAGUAR EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL</b> ..... | 39 |
| 3.1 Introducción.....  | 39 |
| 3.2 Objetivos.....   | 41 |
| 3.3 Hipótesis .....  | 41 |
| 3.4 Método.....  | 41 |
| 3.5 Resultados.....  | 43 |
| 3.6 Discusión .....  | 45 |
| 3.7 Conclusión.....  | 47 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 3.5 Literatura citada..... | 49 |
|----------------------------|----|

#### INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Área de estudio, límites de interés dentro de la Provincia, Sierra Madre Oriental. ....   | 18 |
| <b>Figura 2.</b> Ejemplar de jaguar en la SMO. Cortesía de Martínez – Calderas, 2008. ....   | 19 |
| <b>Figura 3.</b> Modelo jerárquico en el que se ilustran las alternativas para obtener la matriz de resistencia.....   | 23 |
| <b>Figura 4.</b> Parches fundamentales y de steeping-stone de hábitat potencial para el jaguar en el sur de la Sierra Madre Oriental. ....   | 26 |
| <b>Figura 5.</b> Estructura del paisaje SMO. La resistencia para el paso del jaguar se muestra de menor a mayor, conforme se incrementa la resistencia, disminuye la adecuabilidad del hábitat. .... | 30 |
| <b>Figura 6</b> Obtención de rutas. Diagrama que ilustra el procedimiento LCP. Los cuadros amarillos indican las herramientas y los óvalos los datos de entrada (azul) y de salida (verde).....      | 42 |
| <b>Figura 7 .</b> Corredor Sierra Madre Oriental. Distribución y clasificación de las rutas de menor costo potencialmente usadas por el jaguar en el sur de la SMO. ....                             | 43 |

#### INDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Potenciales ventajas y desventajas en el uso de los corredores como herramientas para facilitar la conectividad. (Tomado de Crooks y Sanjayan, 2006)..... | 12 |
| <b>Cuadro 2.</b> Escala de Saaty, en posición continua (Tomada de Eastman, 2003).....  | 15 |
| <b>Cuadro 3.</b> Estructura de la matriz del paisaje, propuesta para el Sur de la SMO, de acuerdo a los costos y a la adecuabilidad del hábitat. ....                      | 32 |
| <b>Cuadro 5.</b> Criterios y pesos por categorías asignados por expertos. ....   | 35 |
| <b>Cuadro 6.</b> Criterios e importancia relativa (peso) para evaluar la matriz del paisaje en el sur de la Sierra Madre Oriental, respecto al hábitat del jaguar.....     | 36 |
| <b>Cuadro 7.</b> Composición de la matriz del paisaje propuesta para el Sur de la SMO. De acuerdo a las clases de adecuabilidad en porcentaje .....                        | 36 |
| <b>Cuadro 8.</b> Longitud de las rutas de menor costo de acuerdo al tipo de movimiento potencial de uso. ....  | 51 |

## CAPITULO I. INTRODUCCION GENERAL

### 1.1 Introducción

La principal amenaza para la diversidad biológica es la transformación y pérdida del hábitat, la cual puede presentarse como destrucción directa de hábitats, o daño a los mismos mediante procesos como la contaminación, degradación y fragmentación. (Bennett, 2004).

Un ejemplo de lo anterior es que a partir de la destrucción directa de su hábitat, sería la extirpación, local o global, de las especies características de sitios con condiciones de sustratos especiales, como los pantanos o las arenas blancas. Así mismo, los cambios en la estructura del bosque y la pérdida de fauna en Victoria, Australia son una muestra del proceso de la pérdida y fragmentación del hábitat (Bennett, 2004).

La fragmentación del hábitat aumenta la vulnerabilidad de los organismos asociados a los fragmentos, en los cuales, las poblaciones pueden tender a la desaparición si la sobrevivencia y la inmigración disminuyen con respecto a las tasas de natalidad y emigración (Pulliam, 1988). De igual modo, la variación genética de una especie se puede reducir a medida que se reduzca el tamaño de sus poblaciones, lo que puede traer problemas genéticos de los que una especie no pueda recobrase, ejemplo de esto son las desapariciones locales (Ewers y Didham, 2006; Bennett, 2004).

Prevenir y mitigar los efectos de la fragmentación del hábitat es una prioridad en la conservación de la vida silvestre. Los enlaces del paisaje o corredores biológicos se han sugerido como una herramienta para conectar poblaciones aisladas y disminuir los efectos negativos de la fragmentación (Cushman *et al*, 2008).

A diferencia de los parques y reservas tradicionales, los corredores biológicos sirven como complemento de las zonas de amortiguamiento de estas, permitiendo la dispersión y facilitando el flujo genético y la colonización de otras áreas idóneas (Nikolakaki, 2004).

En los esfuerzos para proteger o restaurar las comunidades de vida silvestre, los depredadores son vistos como especies clave. Su función es importante, debido a que al extraer individuos del ecosistema regulan las densidades poblacionales de sus presas. Cuando estos desaparecen comienzan a actuar fenómenos en cadena, por ejemplo, un incremento excesivo en las poblaciones de sus presas que puede ocasionar enfermedades y una elevada competencia por los recursos, lo cual podría ocasionar un deterioro del ecosistema modificando el funcionamiento del mismo (Cramer y Portier, 2001).

El jaguar (*Panthera onca*) es un depredador, y el mayor representante de la familia Felidae en América, la cual, por su amplia distribución y por habitar una gran variedad de ecosistemas puede potencialmente funcionar como la base para los planes de conservación a escala regional o nacional (Ceballos *et al*, 2005).

Sin embargo, debido a sus amplios ámbitos hogareños, el jaguar al igual que otros depredadores, es muy susceptible a los efectos de la fragmentación (Dixon *et al*, 2006). En México, las tendencias en la modificación de su hábitat, y la información sobre la distribución de los jaguares, sugieren una distribución actual más reducida en comparación con la distribución histórica de la especie (Ceballos *et al*, 2005) por lo que se le considera en peligro de extinción; por esta razón, el jaguar ha sido protegido desde 1987, y fue designado como una especie prioritaria para la conservación desde el 2000 (SEMARNAT, 2001). Esta especie también se encuentra en la lista roja en la categoría de “cercanamente amenazada” (IUCN, 2010), además está incluido dentro del apéndice 1, por la CITES (CITES, 2008).

Debido a esta situación, se han realizado estudios acerca de la distribución del jaguar, los cuales han sugerido la presencia de esta especie en zonas históricas donde se consideraba había desaparecido (Rosas-Rosas y López-Soto, 2002; Grigione *et al*, 2009; Villordo-Galvan *et al*, 2010; Rodríguez-Soto *et al*, 2011). Estos estudios identifican la necesidad de promover la conectividad entre estas áreas para incrementar la conservación de la especie. Por ello, el objetivo principal de esta investigación es identificar los corredores de desplazamiento del jaguar en la Sierra Madre Oriental (SMO).

Se ha considerado a la SMO posiblemente aislada de otras regiones con poblaciones de jaguar hacia el sur, sugiriendo que existe una conectividad con la población de la Sierra Madre Occidental a través del altiplano mexicano (Rabinowitz y Zeller, 2010). Sin embargo, esta hipótesis es cuestionable, ya que el altiplano mexicano se conforma en su mayoría por matorrales y pastizales (Flores-Flores y Yeaton H, 2000), y este tipo de vegetación no coincide con la diversidad de hábitats que ocupa el jaguar, por lo cual no presenta condiciones de hábitat óptimo disponible para el jaguar (Rodríguez-Soto *et al*, 2011) por lo que es riesgoso basar las acciones de manejo en supuestos poco fundamentados, ya que podría tener consecuencias negativas sobre las poblaciones de jaguares a mediano y largo plazo, por esta razón, la identificación de posibles corredores para la SMO se convierte en una prioridad.

Los análisis de conservación mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten el uso de ordenadores para integrar la información espacial disponible sobre el medio natural y la distribución de las especies. Los análisis SIG han permitido identificar áreas críticas, con la finalidad de auxiliar a los tomadores de decisiones a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar alternativas de uso, o como en este caso para identificar los diferentes grados de aptitud de un área para un determinado objetivo (Bennett, 2004; Epss, 2007; Olivas, 2006).

Específicamente en este trabajo, debido a la escala del área de estudio y fundamentalmente a la necesidad urgente de implementar una estrategia de conectividad para las poblaciones de jaguar, la aplicación de análisis SIG, representa una ventaja importante ante la identificación de los aspectos biológicos y sociales que deben tomarse en cuenta en el diseño y manejo de los enlaces del paisaje. Se espera que los análisis SIG desarrollados optimicen de forma eficaz el tiempo y los recursos, para poder desarrollar un plan de manejo para lograr la conectividad entre los parches de hábitat localizados.

## **1.2 Objetivo General**

Identificar corredores biológicos potenciales para el jaguar (*Panthera onca*), que faciliten su desplazamiento a otras poblaciones hacia el sur de la Sierra Madre Oriental.

## **1.3 Hipótesis General**

La Sierra Madre Oriental proporciona los elementos del hábitat requeridos por el jaguar para dispersarse a través de corredores dentro de región y hacia otras regiones.

## **1.4 Meta**

Corroborar la existencia de parches de hábitat, con las características necesarias, que conformen un corredor biológico para el jaguar (*Panthera onca*) en la Sierra Madre Oriental y que promuevan su dispersión y viabilidad a largo plazo.

## **1.5 Corredores biológicos**

El concepto de “Conectividad del paisaje” se introdujo por primera vez por Merriam (1984) y lo describió como “El grado en que se impide el aislamiento absoluto por los elementos del paisaje que permite a los organismos moverse entre parches”. Más tarde Tylor et al (1993) modificaron la definición especificando que se refiere a “El grado en que el paisaje impide o facilita el movimiento alrededor de los parches con recursos”

(Crooks y Sanjayan, 2006). Forman (1995) describió mediante un modelo simple y en concordancia con la teoría de metapoblaciones, que; “los paisajes pueden describirse como un mosaico donde cualquier punto en el espacio corresponde a un parche de hábitat, a un corredor o a la matriz”.

Así, la **matriz** del paisaje es un área amplia con tipos de vegetación o ecosistemas similares en la cual se encuentran los parches y corredores. Un **parche** es un área relativamente homogénea que difiere de la matriz circundante. Un **corredor** del paisaje es una tira (continua o no) del entorno que difiere de la matriz que lo rodea y con frecuencia conecta dos o más parches de paisaje con un hábitat similar, quedando claro que los ambientes naturales no son homogéneos (Forman1995).

De acuerdo con la teoría de las metapoblaciones (Hanski L, 1998), “una metapoblación consiste en una población regional que está espacialmente separada formando sub-poblaciones o poblaciones locales que se conectan mediante el proceso de la dispersión de sus individuos”.

En un ambiente natural, las poblaciones locales están representadas por pequeñas poblaciones, las cuales suelen ser especialmente sensibles y potencialmente vulnerables a la extinción. Sin embargo, mientras haya un desplazamiento suficiente entre las poblaciones locales, la población regional puede subsistir. Este concepto ha sido llevado a nivel paisajístico, para entender la dinámica de las poblaciones de animales silvestres en ambientes fragmentados. Aunque con reservas, la óptica de la metapoblación, reconoce la importancia de los corredores para el desplazamiento de las poblaciones de animales entre los parches de hábitat dentro de una matriz (Bennett, 2004).

Los corredores son herramientas valiosas de conservación. Sin embargo, al no ser manejados adecuadamente estos podrían presentar ciertas desventajas (Cuadro 1- Crooks y Sanjayan, 2006).

A pesar de esto último, recientemente se han realizado numerosos estudios para determinar la presencia de corredores para contribuir a la conectividad entre los hábitats fragmentados de diversas especies de fauna; así mismo, se han realizado estudios para monitorear el uso y estado de conservación de corredores ya identificados previamente, basándose en el uso de modelos de costo (LCP) y técnicas de teledetección, respectivamente (Dickson *et al*, 2005; La Rue y Nielsen, 2008 y Li *et al*, 2010).

**Cuadro 1.** Ventajas y desventajas potenciales para las especies en el uso de corredores para facilitar la conectividad. (Tomado de Crooks y Sanjayan, 2006).

| <b>Ventajas Potenciales</b>  | <b>Desventajas Potenciales</b>   |
|--|--|
| <p><b>1.-Incremento en la tasa de inmigración a hábitats aislados que podrían:</b></p> <p>a) Incrementar o mantener la diversidad de las especies.</p> <p>b) Proveer un "efecto de rescate" a las poblaciones aisladas aumentando el tamaño de la población y disminuyendo la probabilidad-de extinción.</p> <p>c) Permitir la recolonización de las poblaciones locales extintas, y mejorar la persistencia de las metapoblaciones.</p> <p>d) Prevenir la endogamia y mantener la variación genética entre poblaciones.</p> | <p>1.- Incremento en la tasa de inmigración a habitas aislados que podrían:</p> <p>a) Facilitar y propagar enfermedades.</p> <p>b) Facilitar y propagar a los depredadores exóticos y competidores.</p> <p>c) Facilita y propaga especies plagas y malezas.</p> <p>d) Disminuir el nivel de la variabilidad genética incrementando las subpoblaciones.</p> |
| <p><b>2.- Permiten los movimientos diarios o estacionales, para forrajeo, reproducción y migración en otros ambientes</b></p>  | <p>2.- Facilitan la propagación de incendios forestales y otras catástrofes naturales.</p>   |
| <p><b>3.- Facilitan la dispersión de los animales desde sus sitios de nacimiento hacia sus sitios de reproducción.</b></p>   | <p>3.- Crean "fuentes de mortalidad", por el incremento de la exposición de los animales a los corredores de humanos, los depredadores exóticos y nativos compiten, hay contaminación y otros deterioros, creando "efectos borde".</p>   |
| <p><b>4.- Promueven la adaptación natural de los rangos de distribución, debidos a los cambios climáticos globales.</b></p>  | <p>4.- A menudo las franjas ribereñas son recomendadas como corredores, pero podrían no mejorar la dispersión y ni sobrevivencia de las especies en tierras altas.</p>   |
| <p><b>5.- Proveen cobertura de escape al movimiento entre los parches.</b></p>   | <p>5.-Economicamente implican un alto costo en su construcción, reparación y mantenimiento</p>   |
| <p><b>6.- Proveen de hábitat tanto a animales de paso como a los animales residentes.</b></p>  | <p>6.-Los costos políticos alteran los patrones de usos de las tierras por humanos.</p>  |
| <p><b>7.- Proveen alternativas de refugio para grandes perturbaciones (Como en casos de incendios).</b></p>  |  |
| <p><b>8.- Perpetúan los procesos ecológicos y servicios ecosistémicos como la sucesión, dispersión y flujos de agua, nutrientes y energía.</b></p>   |  |
| <p><b>9.- Proveen "cinturones verdes" en los límites urbanos, disminuyen la contaminación, proveen oportunidades de recreación y mejoran el escenario.</b></p>   |  |

En el caso del jaguar algunos esfuerzos por reconocer los sitios de prioridad para su conservación y la conexión entre estos han generado una diversidad de propuestas sobre

las rutas utilizadas por este carnívoro para su dispersión a nivel regional y dentro del continente Americano, o a escalas más locales, como lo son las conexiones entre áreas naturales protegidas del país, o incluso a escalas más finas identificando corredores dentro de una sola Reserva (Rabinowitz y Zeller, 2010; Grigione *et al*, 2009; Conde *et al*, 2010).

Estos estudios cubren un amplio rango de la distribución de la especie. En lo que respecta al primero éste se enfoca en estudiar las conexiones entre las poblaciones de jaguar presentes en Mesoamérica y Sudamérica y el segundo, desarrolla la investigación en el área correspondiente al Este de México y su frontera con Norteamérica; de estos trabajos, resulta interesante resaltar, que se está estudiando la conectividad en zonas divididas por fronteras nacionales, lo cual complica el manejo de estas áreas por las políticas propias de conservación en cada país.

Por otro lado, estos estudios incluyen la identificación de corredores potenciales para esta especie tomando como puntos de origen las poblaciones conocidas de jaguar (UCJS-Sanderson *et al*, 2002), lo cual puede subestimar las conexiones existentes en México, debido a que cuenta una cantidad menor de estas, respecto al hábitat potencial de la especie, porque estas unidades solo abarcan el 14% de hábitat adecuado para el jaguar (Rodríguez-Soto *et al*, 2011).

En México se han realizado estudios sobre la distribución del jaguar, los cuales indican registros recientes en zonas históricas donde se creía desaparecida a la especie (Villordo-Galván *et al*, 2010). El jaguar, a pesar de ser una especie con un amplio rango de distribución, requiere ser estudiado en una escala que permita evidenciar la situación real sobre su hábitat y la conectividad de sus poblaciones en una zona específica, considerando su rango de movimiento y posible dispersión.

Este estudio no busca identificar solo áreas con potencial de distribución para la especie sino áreas, que puedan funcionar como parches de hábitat y que puedan conectar a estos parches de hábitat a través de la matriz que ofrece la SMO.

El objetivo principal de este trabajo fue identificar corredores biológicos potencialmente viables para la conectividad entre poblaciones de jaguar, en la SMO. Sin duda, esta información será de utilidad para elaborar un plan de manejo que promueva la viabilidad a largo plazo de las poblaciones de esta especie en el noreste de México.

## **1.6 Modelado espacial de áreas aptas para la distribución potencial**

El modelado espacial de la distribución de las especies (SDM), es una técnica que se refiere a la predicción de áreas potenciales para la distribución de las especies (Stockwell, 2007). Un modelo es una representación de un objeto, sistema o idea y puede verse como la abstracción de un sistema en el mundo real. El modelo puede ser una guía para entender y mejorar algún sistema y reconocer algunos supuestos. Sin embargo, un modelo, no es la verdad, ni la única solución y siempre puede mejorarse. Su utilidad radica en optimizar el trabajo de campo y los recursos disponibles (económicos, humanos, de tiempo) y enfocar las actividades de investigación y conservación en áreas más pequeñas (que cumplen con ciertas características) y asimismo excluir muchas aquellas áreas con poco o nulo potencial de ocupación por la especie (Darío, 2004).

Existen diversos métodos para generar los modelos de distribución potencial, escoger el tipo de modelo depende de los objetivos del trabajo y de la disponibilidad de información acerca de la especie, o la facilidad para adquirirla (Stockwell, 2007; Soberon, 2010). La consistencia y el rendimiento, del método, son dos características importantes en su elección (Elith *et al* 2011; Mateo *et al*, 2011).

En el campo de la ecología se han desarrollado dos aproximaciones respecto a la modelación espacial: 1) La deductiva que analiza la relación hábitat-especie a partir del conocimiento de uno o varios expertos y 2) la inductiva en la cual el análisis se genera a partir de un conjunto de observaciones y los valores de variables ambientales, definidos por el nicho ecológico de la especie (Benítez, 2010). Dentro de la aproximación deductiva se incluye al análisis multicriterio, el cual se define como un conjunto de técnicas orientadas a facilitar los procesos de decisión que integran dos o más atributos y donde se presentan problemas o conflictos de manejo, al considerar un gran número de relaciones que ocurren en el mundo real (Benítez, 2010).

Para ello, el tomador de decisiones debe articular su objetivo e identificar los criterios útiles para indicar el grado con que este objetivo se logrará. Una de las técnicas de evaluación multicriterio es el proceso de la Combinación Lineal Ponderada (WCL), donde cada uno de los criterios se multiplica por un determinado peso para finalmente proceder a la suma de los productos. En la WCL es un requisito que los pesos de los distintos criterios sumen uno. En la técnica de las jerarquías Analíticas de Saaty (AHP - 1980), estos pesos pueden derivarse a través del vector principal de una matriz cuadrada

recíproca de las comparaciones de a pares de los criterios, por lo tanto el proceso del AHP se integra al análisis de WCL para tomar una decisión (Barredo, 1996).

El AHP fundamenta su teoría en el hecho de que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas logrando medir mediante una comparación pareada cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Los puntajes se proveen sobre una escala continua de nueve puntos (Cuadro 2 - Saaty, 1980).

**Cuadro 2.** Escala de Saaty, en posición continúa.

| Menos importante |                 |             | Mas importante |            |               |             |                 |           |
|------------------|-----------------|-------------|----------------|------------|---------------|-------------|-----------------|-----------|
| <b>1/9</b>       | 1/7             | 1/5         | 1/3            | 1          | 3             | 5           | 7               | 9         |
| sumamente        | Muy fuertemente | fuertemente | moderadamente  | Igualmente | moderadamente | fuertemente | Muy fuertemente | sumamente |

Aunque por otra parte el AHP también ha sido criticado por la naturaleza subjetiva del proceso de modelación que es, en cualquier caso, inherente a la resolución de problemas. Además, hay que tener en cuenta que sus variables subyacen en una estructura aditiva a las preferencias individuales. En este sentido el AHP como el resto de las técnicas de modelación, no pueden garantizar decisiones correctas, pero si pueden ayudar a mejorarlas (Mesa *et al*, 2008).

Al realizar el análisis multicriterio en un entorno SIG este toma la denominación de análisis multicriterio espacial, el cual es un proceso donde los datos geográficos se combinan y se transforman en una decisión (Malzescki, 2004). La decisión puede ser por ejemplo la determinación (identificación) de áreas con aptitud para ser habitadas por el puma (*Puma concolor*) como lo propuesto por LaRue y Nielsen (2008).

Por otro lado en lo que se refiere a la aproximación inductiva se encuentra el modelado del nicho ecológico que de acuerdo con Hutchinson (1957); el nicho es definido, por un hipervolumen de n- variables ambientales con un valor límite específico para cada especie y el área definida por estos valores corresponde a las condiciones ambientales que

permiten la existencia de una especie en determinado espacio, convirtiéndola en un área apta con potencial para su distribución (Stockwell, 2007).

En este caso las variables ambientales son representadas por datos geográficos y usados como predictores. Estas variables se han clasificado en tres tipos: Escenopoéticas, binómicas y temporales y la intersección de estas reflejan la distribución actual (*Go*) de la especie (Soberon, 2010). Sin embargo, no siempre es posible modelar *Go*, esto dependerá de la disponibilidad de la información y también de la escala del estudio (Soberón, 2010).

**Maxent** un algoritmo de inteligencia artificial basado en la teoría de la máxima entropía, emplea muestras relativamente pequeñas de datos de registros únicos para lograr una predicción sobre la distribución de especies a escalas geográficas gruesas (entre 1:10,000 y 1:50,000). Permite determinar de manera práctica y confiable si un hábitat es adecuado o no para la especie, lo que permite justificar y orientar propuestas de restauración de un área y recuperación de especies, logrando compensar espacialmente los efectos de pérdida de hábitat y fragmentación (Phillips *et al*, 2006).

Maxent emplea un algoritmo determinístico para estimar la probabilidad de distribución más apropiada, parte de una ganancia de cero que incrementa hacia una asíntota durante la corrida del modelo, esta ganancia se relaciona estrechamente con la desviación, una medida de precisión de ajuste usada generalmente en modelos aditivos y lineales. Al final de la corrida del modelo, la ganancia indica qué tan concentrado está el modelo alrededor de las muestras de presencia (Phillips *et al*, 2006).

Este modelo funciona minimizando la entropía relativa entre dos entidades; los datos de localizaciones de presencia y los datos del paisaje de interés (predictores), en el espacio de la probable distribución, además de utilizar los datos de las localidades de presencia, Maxent también toma una muestra de 10,000 píxeles de la región de estudio utilizados en la calibración del modelo para caracterizar el “fondo” de los medios disponibles para la especie (por lo tanto se le califica de presencia – Philips *et al*, 2006).

Para reducir la tendencia a crear modelos con sobreajuste, Maxent emplea lo que se denomina regularización de sancionar los pesos fuertes dados de las funciones, esto es, penaliza a los modelos complejos que incluyen muchas características y/o tienen un peso fuerte para ellos, en efecto obligando a Maxent a concentrarse solamente en las características más importantes, aquellos con mayor capacidad explicativa (Philips *et al*, 2006).

Maxent presenta la probabilidad en bruto para cada pixel en la región de estudio, indicando la idoneidad de un pixel dado en relación con todos los otros pixeles. Estas probabilidades primas se escalan para sumar 1 y no representan la probabilidad de ocurrencia, sino más bien un índice de aptitud relativa (Philips *et al*, 2006). Este modelo también proporciona dos opciones de formato de salida; el acumulativo y el logístico; el formato acumulativo suele ser más fácil de interpretar cuando se proyecta, pero no es necesariamente proporcional a la probabilidad de la presencia; por el contrario, el formato logístico en cambio muestra la probabilidad de presencia de la especie (Philips y Dudik, 2008).

## 1.8 Literatura citada

- Barredo, C., J. I. 1996. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. RA-MA Editorial. Madrid, España. 259 p.
- Benítez G., A.M.2010.Aproximaciones del hábitat potencial para el jaguar (*Panthera onca*), en la Región Caribe Colombiana. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Escuela de Posgrado. Turrialba Costa Rica.
- Bennett A.F. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la vida silvestre. Blanch J.M (Traductor). IUCN-Unión Mundial para la naturaleza San José Costa Rica. 278 pp
- Ceballos G., Chávez C., Zarza H y C Manterola.2005.*Ecología y Conservación del Jaguar en la región de Calakmul*. Biodiversitas. 62: 1-6
- CITES (Convenio Internacional de Especies Amenazadas). 2008. Apendices I, II and III.Geneva. 47p.
- Conde D.A., Cochero F., Zarza H., Christensen N.L., Sexton J.O., Manterola C., Chavez C., Rivera A., Azuara D y Ceballos G.2010.Sex matters:Modeling maleo n female hábitat differences for jaguar conservation. *Biological conservation*. 143: 1980-1988.
- Cramer P.C y K.M Portier.2001.Modeling Florida panther movements in response to human attributes of the landscape and ecology settings. *Ecological Modeling*. 140:51-80
- Cushman S.A., Mckelvey K.S y Schwartz M.K.2008.Use of empeirically deriver source-destination models to map regional conservation corridors. *Conservation Biology* 23 (2): 368-376.
- Crooks K.R y M.A Sanyajan (eds). 2006 .Connectivity conservation: Maintaining connections for nature. Cambrige University Press.
- Darío I. 2004. *Modelo de hábitat y distribución de la alondra (Eremophila alpestris peregrina) en el altiplano Cundiboyacense, Colombia*. Ornitología colombiana No. 2: 25-33.

- Dickson B.G., Jennes J.S y Beier P. 2005. *Influence of Vegetation, Topography, and Roads on Cougar Movement in Southern California*. Journal of wildlife management 69(1):264–276.
- Dixon J.D., Oli M.K., Wooten M.C., Eason T.H., McCowon J.W y Paetkau D. 2006. *Effectiveness of a regional corridor in connecting two Florida black bear populations*. Conservation Biology 20(1): 155-162.
- Elith J., Philips S.J., Hastie T., Dudick M., Chee Y.E y C.J Yates. 2011. *A statistical explanation of MaxEnt for ecologists*. Diversity and Distributions. 17: 43-57
- Epss C.W., Wehausen J.D., Bleich V.C., Torres S.G & Brashares J.S. 2007. *Optimizing dispersal and corridor models using landscape genetics*. Journal of Applied Ecology 44: 714-724.
- Ewers R.M y Didham R.K. 2006. *The Effect of Fragment Shape and Species Sensitivity to Habitat Edges on Animal Population Size*. Conservation Biology 21(4): 926-936.
- Flores – Flores J.L y R.I Yeaton H. 2000. *La importancia de la competencia en la organización de las comunidades vegetales en el Altiplano Mexicano*. Interciencia 25 (8): 365-371
- Forman, R.T.T. 1995. *Some general principles of landscape and regional ecology*. Landscape Ecology (10) 3:133-142
- Grigione M.M., Menke K., Gonzalez-Lopez C., List R., Banda A., Carrera J., Giordano A.J., Morrison J., Sterberg M., Thomas R y Van Pelt B. 2009. *Identifying potential conservation areas for felids in the USA and Mexico: integrating reliable knowledge across an international border*. Fauna & Flora international, Oryx, 43(1): 78-86.
- Hanski L. 1998. *Metapopulation dynamics*. Nature 396(5): 41-49.
- Hutchinson G.E. 1957. *Concluding remarks*. Pp 415-427. En Línea: <http://www2.unil.ch/biomapper/Download/Hutchinson-CSHSymQunBio-1957.pdf>
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2010. *Red List of threatened species*. IUCN, Gland. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- LaRue M.A y Nielsen C.K. 2008. *Modeling Potential dispersal corridors for cougar in midwestern North American using least-cost path methods*. Ecological Modeling 212: 372-381.

- Li H., Li D., Li T., Quiao Q., Yang J y Zhand H.2010. *Application of least-cost path model to identify a giant panda dispersal corridor network after the Wenchuan earthquake—Case study of Wolong Nature Reserve in China*. Ecological Modelling 221: 944–952.
- Malczewski, J.2004.*Gis-Based land-use suitability analysis: a critical overview*. Progress in Planning. 62:3-65
- Mateo, R.G., Felicísimo A.M y Muñoz. 2011.Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia natural*, 84:217-240
- Mesa p., Martín-Ortega J., y J. Berbel.2008.Análisis multicriterio de preferencias sociales en gestión hídrica bajo la directiva Marco del Agua. *Economía agraria y Recursos Naturales*. 8 (2): 105 – 126.
- Nikolakaki P.2004. *A GIS site-selection process for habitat creation: estimating connectivity of habitat patches*. Landscape and Urban Planning 68: 77–94.
- Olivas G., U.E.2006.*Aptitud de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales en el Estado de Durango*. Tesis en Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo Edo. de México, México. 166p.
- Philips S.J., Anderson R.P. y R.E. Shapire. 2006. *Maximum entropy modeling of species geographic distributions*. Ecological Modelling 190: 231–259.
- Phillips S.J. y M. Dudik. 2008. *Modeling of species distributions with MAXENT: new extensions and a comprehensive evaluation*. Ecography. 31:161-175.
- Pulliam H.R.1988. Sources, Sinks, and Population Regulation. *The American Naturalist*. 132 (5): 652-661.
- Rabinowitz A y Zeller K.A.2010. *A range –wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, Panthera onca*. Biological Conservation, doi:10.1016/j.bicon.2010.01.002
- Rodríguez – Soto C., Monroy – Vilchis O., Maiorano L., Boitani L., Faller J.C., Briones M.A., Núñez R., Rosas-Rosas O., Ceballos G y A Falucci.2011. *Predicting potential distribution of the jaguar (Panthera onca) in Mexico: identification of priority areas for conservation*. Diversity and Distributions, 1-12.
- Rosas –Rosas O.C y J.H López – Soto. 2002. *Distribución y estado de conservación del jaguar en Nuevo León, México*. Pp 393 – 401 in *El Jaguar en el nuevo milenio* (R.A Medellín et al., eds.)Fondo de Cultura Económica – Universidad Nacional Autónoma de México – Wildlife Conservation Society. 647pp

- Saaty, T. L. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York. USA.
- Sanderson, E.W., Redford, K.H., Chetkiewicz, C.B., Medellin, R.A., Rabinowitz, A.R., Robinson, J.G., Taber, A.B., (2002) Planning to save a species: the jaguar as a model. *Conservation Biology*, 16:58-71
- SEMARNAT (SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES)  
2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Diario Oficial 6 de Marzo de 2002, México, Distrito Federal, México.
- Soberón J.M. 2010. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography* 33: 159-167
- Stockwell D. 2007. *Niche Modelling predictions from statistical distributions*. Chapman & Hall/CRC Mathematical and computational biology series. London New York. 200pp
- Villordo-Galvan J.A., Rosas-Rosas O.C., Clemente-Sánchez F., Martínez-Montoya J.F., Tarango-Aranbula L.A., Mendoza-Martínez G., Sánchez-Hermosillo M.D y L.C Bender. 2010. *The jaguar (Panthera Onca) in San Luis Potosí México*. *The Southwestern Naturalist* 55 (3):394-401

## CAPITULO II. APTITUD DE ÁREAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CORREDORES BIOLÓGICOS PARA EL JAGUAR

### 2.1 Introducción

Los parches de hábitat resultantes del proceso de la fragmentación rara vez se encuentran rodeados por una matriz homogénea e inhóspita. De hecho, la matriz en los paisajes fragmentados puede considerarse como un mosaico de hábitats con distinto grado de alteración y destrucción respecto al hábitat original, que puede actuar facilitando o impidiendo el movimiento de los organismos a través del paisaje; por lo cual, se le ha denominado también como matriz de resistencia (Herrera, 2011).

Aunque algunas especies toleran el uso humano de la tierra, hay muchos organismos que son sensibles a este uso y su desplazamiento queda limitado a paisajes no perturbados, por lo cual su supervivencia y mantenimiento depende de la existencia de hábitats con aptitud que puedan promover su conectividad (Bennett, 2004).

Una forma de lograr la conectividad del paisaje promoviendo el desplazamiento y la continuidad de las especies es a través de corredores manejando hábitats concretos. Este método depende de un análisis previo de la matriz del paisaje mediante la identificación de hábitats con aptitud (Bennett, 2004). La identificación de los hábitat con aptitud se realiza usando técnicas de modelación espacial, las cuales permiten visualizar la resistencia en el paisaje e identificar los parches dentro de la matriz (Benítez, 2010).

En este trabajo se emplearon las técnicas de modelación espacial, con la finalidad de hacer un estudio amplio sobre las características del paisaje en la SMO. Se usó al jaguar como especie focal para identificar las zonas de mayor aptitud, dado que los altos requerimientos en cuanto a calidad de hábitat y abundancia de presas por esta especie permiten obtener un panorama amplio sobre la estructura del ecosistema en el que se distribuye (Salom-Pérez, 2010).

Históricamente la SMO contaba con un hábitat continuo para la distribución del jaguar (Saymour, 1989); sin embargo, debido a los efectos de la fragmentación del paisaje en esta zona (Williams-Linera *et al*, 2003; Aguilar-Rivera *et al*, 2010), es improbable encontrar un hábitat continuo disponible actualmente para la especie, por lo que es fundamental identificar las áreas mejor conservadas (parches de hábitat) dentro del área estudio, para la conservación del jaguar y por ende del ecosistema que habita.

Generalmente, los estudios de conectividad que se han llevado a cabo sobre jaguar, consideran de alta prioridad el tamaño del área como un criterio de priorización (Sanderson *et al*, 2002), para México específicamente, considerando que una población de 50 jaguares, en hábitat adecuado puede mantenerse genéticamente estable durante 100 años y tomando en cuenta el ámbito hogareño de la especie, se ha considerado que el área mínima para conservar una población estable de jaguares es de 900km<sup>2</sup> (Rodríguez- Soto *et al*, 2011), y por ello, a pesar de la presencia de jaguares en la SMO esta zona ha sido catalogada de baja prioridad para su conservación, sin haber realizado un análisis más a fondo en el área. Por ello es de especial interés identificar las áreas de adecuabilidad de hábitat disponibles para el jaguar en esta zona.

En este trabajo, se propone considerar como parches de hábitat fundamental, las áreas de hábitat óptimo de al menos 100 km<sup>2</sup>, considerando que; un hábitat de alta adecuabilidad se relaciona positivamente con densidades altas de jaguar (Torres *et al*, 2012) y que en 100km<sup>2</sup> se sostiene una población con una densidad hasta de cinco individuos, que se considera como una densidad relativamente alta para este tamaño de área (Nuñez-Pérez, 2011).

El resto de los parches fueron considerados como “stepping-stone”, mismos que son importantes por su función que cumplen al de facilitar la conectividad principalmente en zonas con fragmentación, los “stepping-stone” en las escalas de paisaje son vistos como series de pequeñas reservas localizadas en territorios agrícolas o urbanos y localmente pueden ayudar a que un individuo se desplace en una distancia  $\leq 1\text{km}^2$  (Bennett, 2004). Por lo tanto la identificación y mantenimiento de estos parches son un elemento integral en la conservación y planificación de los corredores (Rabinowitz y Zeller, 2010), así mismo se ha sugerido que áreas pequeñas bien protegidas funcionan como reservas importantes para la conservación de los jaguares ( Nuñez-Pérez, 2011).

Por otro lado es necesario evaluar el potencial de conectividad entre los parches de hábitat que se identifiquen y esto se logra analizando los costos de resistencia que ofrece la matriz del paisaje (Herrera, 2011). Por ello, mediante la modelación espacial se generó un modelo que refleja la resistencia que ofrece la SMO para la dispersión del jaguar viabilidad de corredores en la zona.

## 2.2 Objetivos

### General:

Identificar áreas aptas potenciales para el establecimiento de corredores biológicos de jaguar en la Sierra Madre Oriental.

### Específicos:

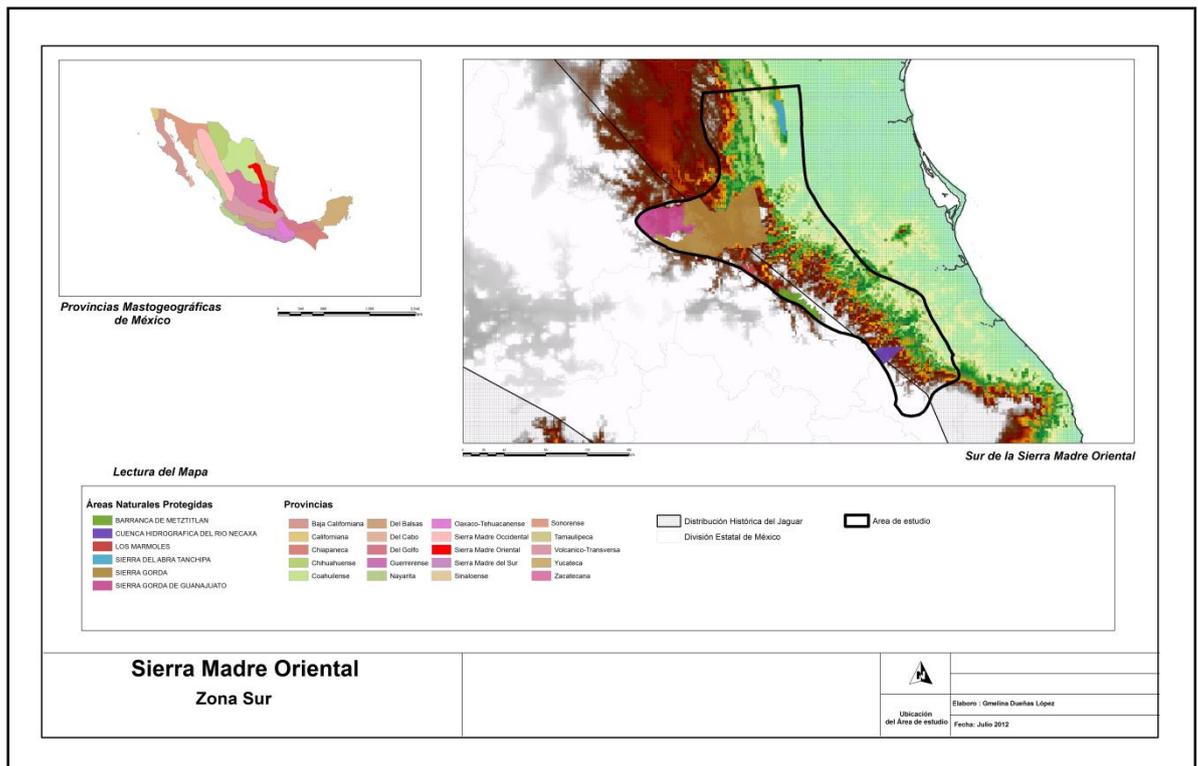
- Generar un mapa de aptitud de hábitat, que permita identificar parches potenciales de la distribución del jaguar en el sur de la SMO.
- Obtener una matriz de resistencia en función a los costos de traslado dentro del hábitat que ofrece el sur de la SMO.

## 2.3 Método

### *Localización y descripción del Área de estudio*

La Sierra Madre Oriental (SMO) en el noreste de México se ha identificado como una zona importante para la conservación de la biodiversidad (Huerta – Ortega y Peterson, 2004). El área de interés se localiza en el sur de la SMO y en ella se encuentran localizadas 7 zonas catalogadas como prioritarias para su conservación con distintas categorías de manejo (CONABIO, 2012). El área comprende parte de los Estados de San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Querétaro de Arteaga, Hidalgo, Puebla y Veracruz (Figura 1).

Se encuentra en la transición del límite boreal de las selvas bajas, de las selvas medianas, del encinar tropical y del palmar. Es una zona de alta diversidad biológica de plantas y vertebrados. Se han registrado 231 especies de plantas y 161 de vertebrados, así como varios taxa amenazados, raros o en peligro de extinción. Además de que en esta zona se han reportado importantes unidades que funcionan como corredores biológicos para dos de las especies de felinos neotropicales más importantes (jaguar y ocelote - *Leopardus pardalis* - Grigione *et al*, 2009, Villordo-Galván *et al*, 2010).



**Figura 1.** Área de estudio, límites de interés dentro de la Provincia, Sierra Madre Oriental.

El área de estudio específicamente se encuentra en el sur de la SMO, cortando al norte de forma paralela con los límites de la Sierra del Abra Tanchipa y en el sur con la Sierra Norte de Puebla. Se conforma en un 30% de bosques, 22% de selvas, cerca del 1% corresponde a matorrales y el resto corresponde a zonas agropecuarias y ganaderas principalmente.

***Descripción, distribución y requerimientos de hábitat del jaguar.***

El jaguar presenta una gran variación en su tamaño y peso, pudiendo medir los machos adultos entre 1.70 y 2.70 m de longitud; las hembras por lo general son más pequeñas (1.57-2.19 m). El peso de los ejemplares adultos varía entre 50 y 100 kg. Su coloración varía entre amarillo pálido y amarillo rojizo, con el vientre y el pecho de color blanco. Los costados presentan manchas en forma de rosetas. Existen ejemplares de color negro llamados panteras, y en los cuales también es posible observar el mismo patrón de manchas que en los ejemplares de color normal. No obstante los ejemplares negros o melánicos son más comunes en Sudamérica que en México (Figura 2, Seymour 1989).



**Figura 2. Ejemplar de jaguar en la SMO.** Cortesía de Martínez – Calderas, 2008.

Generalmente son solitarios, solo se han observado en grupo cuando se aparean o cuando las madres están con sus crías, son territoriales y presentan gran capacidad de movimiento, un macho puede desplazarse 20 km en promedio, para obtener su alimentación dentro de su ámbito hogareño (Sollmann *et al*, 2011).

Aunque al jaguar se le ha caracterizado por ser nocturno, algunos estudios han demostrado que también es activo durante el día. Los picos de nacimiento coinciden con la época en la que hay mayor disponibilidad de presas (Nowel y Jackson, 1996). La gestación en promedio es de 100 días y la camada es de una a cuatro crías; sin embargo, lo más común es que se desarrollen uno o dos ejemplares (Ceballos y Oliva, 2005).

De acuerdo con Seymour (1989), más de 85 especies han sido incluidas dentro de la dieta del jaguar, siendo los mamíferos el principal componente. Por ello, son considerados como oportunistas y su dieta depende de la densidad y vulnerabilidad de las presas.

Colchero y colaboradores en el 2010, a través del estudio de una base de datos socioeconómica y de Índices de Vegetación Normalizada (INDVI), determinó que los movimientos del jaguar aumentan conforme incrementa el INDVI, lo cual está asociado a bosques más densos y esto concuerda con otras investigaciones que relacionan la presencia del jaguar en sitios con una cobertura vegetal más cerrada (Rosas- Rosas y López-Soto, 2002; Monroy Vilchis *et al*, 2008), y concluyen que los jaguares evitan la

proximidad a caminos al igual que Conde *et al*, (2010). Sin embargo, existe una situación en la cual se ha encontrado que a pesar de que esta especie evita moverse cerca de los caminos, hay una superposición con las tierras ganaderas y de actividades agrícolas (Rosas- Rosas *et al*, 2010; Rodríguez- Soto *et al*, 2011).

Se ha documentado que el jaguar usa como corredor áreas de vegetación ribereña (Quigley y Crawshaw, 1992; Ceballos *et al*, 2005), por el hecho de que esta especie requiere la presencia de cuerpos permanentes de agua a una distancia  $\leq 500$  m. Al jaguar se le encuentra en altitudes que van desde los 150 msnm hasta los 2400 msnm; así mismo, se reportan preferencias de áreas con pendientes que van de los 0 a los 14 grados (Rosas-Rosas y López-Soto, 2002; Monrroy Vilchis *et al*, 2008; Villordo-Galván *et al*, 2010).

Históricamente la distribución de jaguares en México incluye las regiones tropicales y subtropicales de Sonora y Tamaulipas hacia el sur a lo largo de planicies costeras del Pacífico y el Golfo de costas de Chiapas y Yucatán, y hacia el centro incluye la Cuenca del Río Balsas y el estado de México, en el norte su rango de distribución se extiende a lo largo de la Sierra Madre Occidental y la SMO (Rosas-Rosas y López-Soto; 2002, Monroy- Vilchis *et al*, 2008).

México mantiene numerosas poblaciones de jaguar en las selvas del sureste del país. En estas zonas, los jaguares son relativamente comunes y son consideradas de alta prioridad para la conservación de la especie por su biodiversidad vegetal y animal, la cual provee el medio de vida para las poblaciones de jaguar (Chavez y Zarza, 2009; Ceballos *et al*, 2005).

En la SMO, la especie ha sido reportada en Querétaro, Tamaulipas y Nuevo León; sin embargo, en la actualidad la SMO no es considerada como un área para la conservación de la especie a largo plazo, recientemente se ha confirmado la presencia de jaguares en la Región Huasteca de SLP, proponiendo la posible existencia de un corredor biológico en esta zona (Rosas-Rosas y López-Soto, 2002; Grigione *et al*, 2009; Villordo-Galván *et al*, 2010).

## ***Modelado espacial de áreas aptas para la distribución potencial***

### **Parches de hábitat**

Se identificaron parches de hábitat potencial mediante un análisis SIG, derivado de un modelo de distribución potencial del jaguar generado por el algoritmo Maxent. El algoritmo de Maxent ha mostrado una alta consistencia, por lo que ha sido ampliamente usado (Elith *et al*, 2011).

Estadísticamente, la mayoría de los ecólogos llaman a las variables independientes como covariables, entradas o **predictores**. El paisaje de interés (L) es un área geográfica sugerida por el problema y definida por el investigador, esta área podría por ejemplo, estar limitada por fronteras geográficas estatales y nacionales. Maxent define L1 como el subconjunto de L, donde la especie está presente, de esta forma ocupa los registros de ocurrencia para hacer la predicción (Elith *et al*, 2011).

Para este estudio L se definió por los límites geográficos del área de estudio y los predictores usados fueron las variables que determinan la presencia del jaguar en México, incluyendo elevación, pendiente, uso de suelo y tipo de vegetación, distancia a carreteras, distancia a cuerpos permanentes de agua, y densidad poblacional humana (Rodríguez-Soto *et al*, 2011; Rosas-Rosas *et al*, 2010; Colchero *et al*, 2010; Monroy-Vilchis *et al*, 2008; Rosas-Rosas y López-Soto, 2002; Ortega-Huerta y Medley, 1999). La información base se obtuvo de INEGI®, Instituto Nacional Mexicano de Estadística y Geografía. La resolución fue de 30m con una escala de 1:250 000.

El subconjunto de L es decir L1 está definido por los registros de ocurrencias del jaguar dentro de L, estos registros en total conforman una base de datos con 68 localizaciones únicas, colectadas en un periodo no mayor a 12 años y corresponden a las clases I y II de acuerdo con Tewes y Everett en 1986 (Villordo-Galván *et al*, 2010; Rosas-Rosas y López-Soto, 2002; Hernández-Saint Martin *et al* *En Prep* y comunicación personal Jesús Martínez Calderas, 2008).

Usando los registros de localización, las variables ambientales y un archivo de sesgo (con el fin de evitar la autocorrelación espacial entre los registros de presencia - Phillips *et al*, 2006; Torres y Jayat, 2010). Se realizó un análisis para predecir los parches de hábitat potencial de distribución del jaguar, usando el algoritmo Maxent V.3.3.3.k (Phillips *et al*, 2006).

Maxent tiene la ventaja de que permite evaluar la robustez de los modelos de acuerdo a la evaluación del Área Bajo la Curva (AUC). Esta es una medida directa de la capacidad de la discriminación del modelo, que toma valores próximos a 1 cuando existe un buen ajuste y cercanos al 0.5 cuando el ajuste no es el mejor que el obtenido al azar. (Benito de Pando y Penas de Giles, 2007; Steiner et al, 2008). Se evaluaron todos los posibles modelos, usando el 30% de las ocurrencias (Phillips et al, 2006). A menudo los valores del AUC son mayores para los modelos con muchas variables, aunque ciertas variables puedan añadir poco al modelo, por lo tanto se usó el critical ratio test (Pearce and Ferrier, 2000 modificado por Baldwin and Bender 2008), y si no existen diferencias entre los modelos se seleccionará el más parsimonioso.

Una vez que se obtuvo el mejor modelo, se procedió a generar una predicción binaria marcando como umbral de corte aquel que maximiza la sensibilidad y especificidad de los puntos de modelación en la salida logística. Esto permitió generar un modelo con dos clases de aptitud de hábitat; alta y baja. Se descartaron las zonas de aptitud baja para obtener finalmente los parches de hábitat, con la mayor probabilidad de presencia.

Se calculó el área de cada parche, para diferenciar entre los parches fundamentales y los parches que solo se usan de paso (“stepping-stone”). Los parches fundamentales debían tener al menos 100 km<sup>2</sup> de hábitat óptimo, debido a que esta es el área mínima reportada capaz de sostener una población de hasta de cinco individuos (Nuñez-Pérez, 2011). El tamaño mínimo para un stepping-stone fue de un 1km<sup>2</sup> (Bennett, 2004, Bunn et al, 2000).

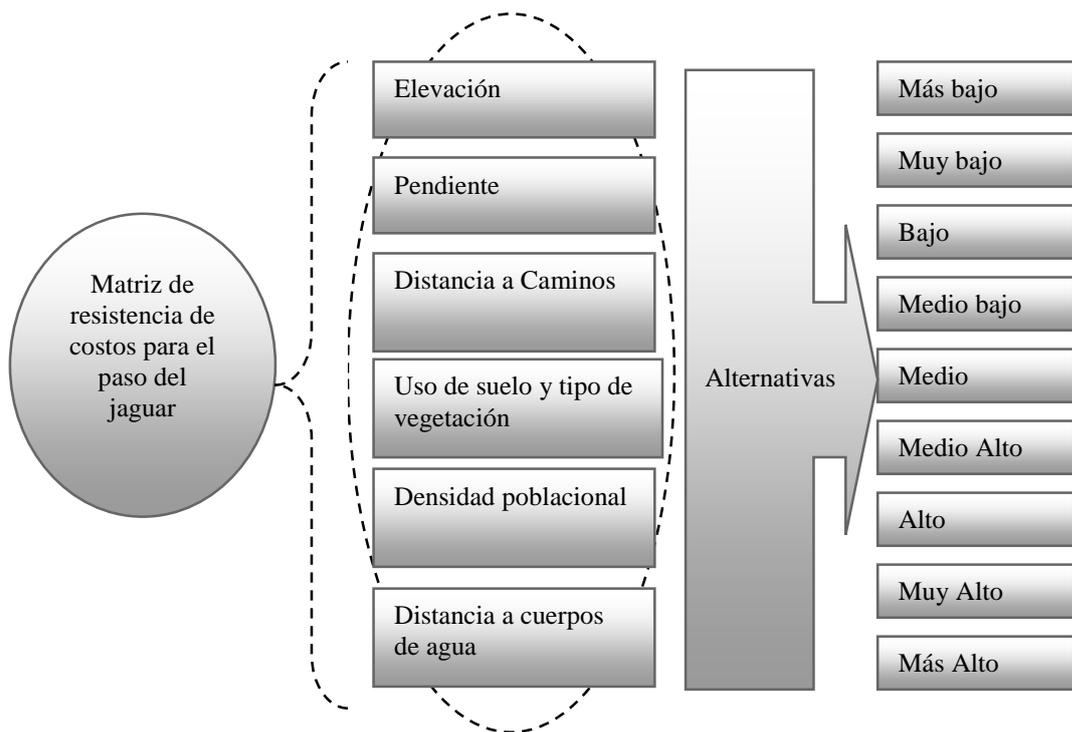
### **Matriz de resistencia**

A partir del análisis multicriterio se siguió el proceso de la WCL para obtener un mapa de aptitud que representa la matriz de resistencia, la WCL es un procedimiento donde los criterios continuos se estandarizaron en un rango numérico común y luego se combinaron por medio de un promedio ponderado (Eastman, 2003).

Para ello se seleccionaron una serie de criterios que posteriormente fueron evaluados dentro de una matriz de comparación (Barredo, 1996). Los criterios fueron seleccionados, en primer término, mediante una revisión de literatura sobre los requerimientos de hábitat para el jaguar, con estos criterios se elaboró un modelo jerárquico, en el cual se planteó un objetivo general y las diferentes alternativas de solución al problema (Figura 3 - Saaty 1980).

Considerando que la participación de los expertos es de suma importancia durante el proceso del AHP y añadiendo que durante cualquier proceso de priorización para aptitud realizado con SIG, este se debe complementar con el conocimiento de los expertos (Malczewski, 2004; LaRue y Nielsen, 2008). Se aplicaron 13 encuestas a expertos investigadores del jaguar de diferentes centros de investigación en América Latina (Anexo 1).

La encuesta, mediante el método del AHP permitió, recopilar información para corroborar la elección de los criterios y la importancia relativa de cada uno de ellos, los cuales de acuerdo con su peso normalizado, mientras más cercano a uno más apto será ese criterio. Así mismo permitió conseguir los pesos para estandarizar los mapas criterio, dado que estos poseen diferentes escalas de medida y este proceso es necesario para concluir la WCL.



**Figura 3. Modelo jerárquico** en el que se ilustran las alternativas para obtener la matriz de resistencia.

La información sobre la opinión de los expertos fue analizada mediante el uso del software *Expert Choice II*, el cual permite realizar la ponderación y normalización de los valores para cada criterio, de acuerdo con los pesos asignados por los expertos. De esta forma se evaluó cada una de las matrices eligiendo aquellas encuestas que obtuvieron el mejor Índice de consistencia deseable ( $IC < 1$ ), para cada uno de los criterios.

Una vez que se eligieron los criterios finales para llevar a cabo el análisis de WLC, se conformó una base de datos geográfica, en la cual cada criterio se representó cartográficamente de acuerdo con INEGI.

Esta base de datos se conformó de la siguiente manera; 1) a partir de un modelo digital de elevación (MDE) se derivaron los criterios **elevación** y **pendiente**; 2) el mapa de la **densidad poblacional** se generó por municipio de acuerdo al censo nacional poblacional 2010; 3) el mapa de **uso de suelo y tipo de vegetación**, correspondió a un reagrupamiento, (en cinco clases finales) de las 66 categorías de uso de suelo y tipo de vegetación presentadas originalmente; 4) se generaron dos cuadrículas de distancia, una a partir de los cuerpos de agua permanentes, y la otra a partir de la red de carreteras federales y privadas (de más de un carril) que estuvieran en función, obteniendo los criterios: **distancia a cuerpos de agua** y **distancia a caminos**.

Debido a que los mapas utilizados estaban en diferentes escalas de medición, se procedió a reclasificarlos en categorías, de esta manera se asignaron los nuevos valores normalizados y se obtuvieron los mapas de las variables estandarizadas dentro de la misma escala de aptitud; este proceso se realizó en la plataforma del programa Idrisi Andes (Eastman, 2006).

Mediante el módulo de aplicación del análisis multicriterio (MCE) en Idrisi Andes, usando la WCL se obtuvo un mapa de adecuabilidad del hábitat del jaguar, cuya evaluación se realizó considerando el IC, el cual es propiamente una medida de evaluación dentro del AHP que mide la inconsistencia global de los juicios mediante la proporción de la consistencia, requiriendo un valor mínimo para la aceptación de la matriz que espacialmente al combinarse con la técnica WCL se refleja en un mapa final de adecuabilidad. Este mapa se reclasificó inversamente en nueve categorías para obtener la matriz de resistencia (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Estructura de la matriz del paisaje, propuesta para el Sur de la SMO, de acuerdo a los costos y a la adecuabilidad del hábitat.

| <b>ID</b> | <b>Costo</b> | <b>Adecuabilidad</b> |
|-----------|--------------|----------------------|
| <b>1</b>  | Mas bajo     | Mas alta             |
| <b>2</b>  | Muy bajo     | Muy alta             |
| <b>3</b>  | Bajo         | Alta                 |
| <b>4</b>  | Medio bajo   | Medio alta           |
| <b>5</b>  | Medio        | Media                |
| <b>6</b>  | Medio alto   | Medio baja           |
| <b>7</b>  | Alto         | Baja                 |
| <b>8</b>  | Muy alto     | Muy baja             |
| <b>9</b>  | Mas alto     | Más baja             |

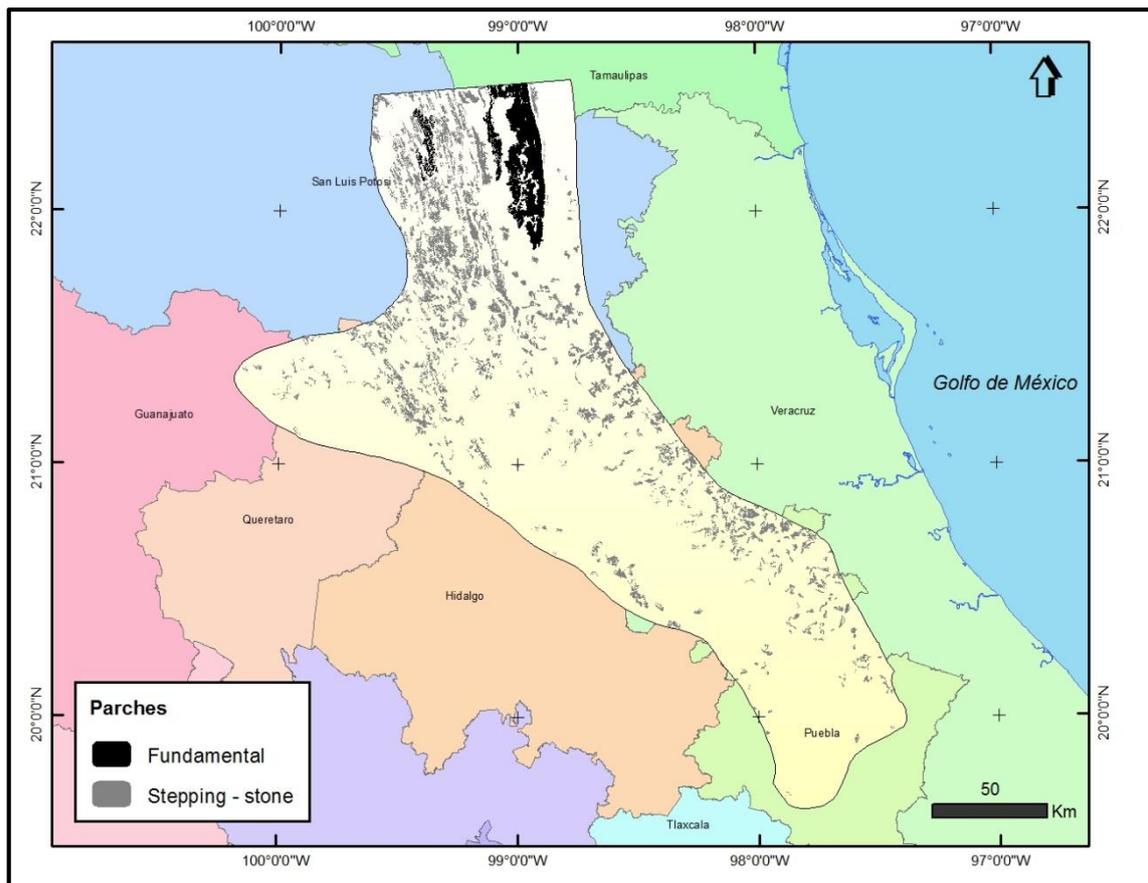
## 2.4 Resultados

### *Parches de hábitat*

El valor del AUC fue significativamente diferente entre el modelo más general y el más simple. El modelo seleccionado fue el que incluyo, pendiente y uso de suelo y tipo de vegetación, dado que es el modelo más parsimonioso y los resultados del AUC son relativamente equivalentes entre los mejores modelos (AUC = 0.881; SE = 0.056; Con = 76.19%).

El porcentaje individual de contribución de las variables fue; pendiente = 52.9%, la probabilidad de presencia del jaguar es mayor en áreas menores a los 9° aproximadamente y esta decrece rápidamente en pendientes, mayores a los 11° y en cuanto al uso de suelo y tipo de vegetación = 47.1%, observándose que la presencia del jaguar esta fuertemente asociada a selvas y a los bosques de pino y encino. Por lo tanto colectivamente la presencia del jaguar es más probable en suelos preferentemente ocupados por selvas y bosques, con pendientes moderadas (Figura 4)

Los resultados de Maxent indican que el área de interés cuenta con al menos un 23% de área que potencialmente podría ser habitada por el jaguar, esta zona se conforma por 581 parches que varían desde 1km<sup>2</sup> hasta 740.50km<sup>2</sup>. Donde tres de estos son mayores a 100km<sup>2</sup>, y por lo tanto cumplen con los criterios establecidos para ser parches fundamentales, de estos ninguno cuenta con el criterio de tamaño de área ideal para sostener a una población mínima viable (900 km<sup>2</sup>; Rodríguez-Soto et al, 2011)



**Figura 4.** Parches fundamentales y de stepping-stone de hábitat potencial para el jaguar en el sur de la Sierra Madre Oriental.

### **Matriz de resistencia**

Del total de encuestas aplicadas las cuales nueve fueron contestadas y de estas el 4 obtuvieron los mejores índices de consistencia (Roberto Salom Pérez, Ronit Amit, Mircea Gabriel Hidalgo y Rodrigo Núñez).

Con base en las respuestas de los expertos se obtuvo que áreas con densidad poblacional de menos de siete habitantes por km<sup>2</sup>, con pendientes entre 0 – 5%, altitudes preferentemente menores a 1000 msnm, presencia de cuerpos de agua a menos de 2 km de distancia, así como una lejanía a los caminos mayor a 16 km, son las más adecuadas para la presencia del jaguar (Cuadro 5).

Se determinó también que los criterios con mayor peso fueron, tipo de uso de suelo y vegetación, y densidad poblacional (Cuadro 6). Lo que indica que la matriz de resistencia para el paso del jaguar, en este estudio está fundamentalmente explicada por el grado de degradación del paisaje respecto al uso de suelo y tipo de vegetación así como su relación con la densidad poblacional humana (Figura 5).

**Cuadro 5.** Criterios y pesos por categorías asignados por expertos.

| <b>Criterios</b>                        | <b>IC*</b> | <b>Categoría</b>  | <b>Peso</b> | <b>Peso Normalizado</b> |
|---|------------|-------------------|-------------|-------------------------|
| <b>Distancia a Cuerpos de agua (Km)</b> | 0.06       | 0 a 2             | 0.582       | 1                       |
|   |            | 2 a 4             | 0.216       | 0.371                   |
|   |            | 4 a 8             | 0.128       | 0.22                    |
|   |            | 8 a 16            | 0.047       | 0.081                   |
|   |            | >16               | 0.027       | 0.046                   |
| <b>Distancia a Caminos (km)</b>         | 0.05       | 0 a 2             | 0.033       | 0.065                   |
|   |            | 2 a 4             | 0.063       | 0.124                   |
|   |            | 4 a 8             | 0.129       | 0.252                   |
|   |            | 8 a 16            | 0.261       | 0.51                    |
|   |            | >16               | 0.513       | 1                       |
| <b>Altitud m.s.n.m</b>                  | 0.06       | 16 a 1000         | 0.613       | 1                       |
|   |            | 1000 a 2000       | 0.208       | 0.34                    |
|   |            | 2000 a 3000       | 0.089       | 0.145                   |
|   |            | 3000 a 3169       | 0.089       | 0.145                   |
| <b>Pendiente (%)</b>                    | 0.07       | 0 a 5             | 0.577       | 1                       |
|   |            | 5 a 30            | 0.301       | 0.522                   |
|   |            | 30 a 100          | 0.082       | 0.142                   |
|   |            | > 100             | 0.039       | 0.068                   |
| <b>Densidad Poblacional (Hab/Km2)</b>   | 0.09       | 0 a 7             | 0.647       | 1                       |
|   |            | 7 a 14            | 0.243       | 0.376                   |
|   |            | 14 a 28           | 0.059       | 0.092                   |
|   |            | > 28              | 0.051       | 0.079                   |
| <b>Tipos de Uso de Suelo</b>            | 0.05       | Agrícola/Ganadero | 0.045       | 0.114                   |
|   |            | Bosques           | 0.395       | 1                       |
|   |            | Matorral          | 0.128       | 0.325                   |
|   |            | Otro tipo         | 0.036       | 0.09                    |
|   |            | Selva             | 0.395       | 1                       |
| <b>IC* &lt; 1</b>                       |            |                   |             |                         |

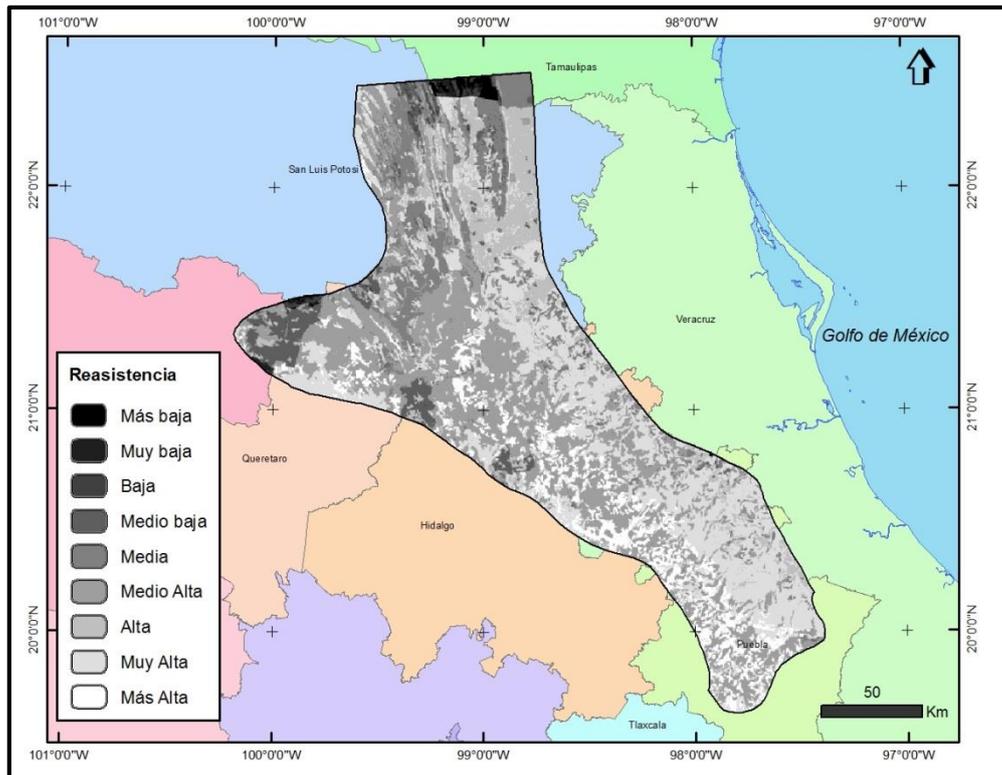
**Cuadro 6.** Criterios e importancia relativa (peso) para evaluar la matriz del paisaje en el sur de la Sierra Madre Oriental, respecto al hábitat del jaguar.

| <b>Criterio</b>                          | <b>IC</b> | <b>Peso</b> | <b>Peso Normalizado</b> |
|--|-----------|-------------|-------------------------|
| <b>Uso de suelo y tipo de vegetación</b> | 0.09      | 0.431       | 1                       |
| <b>Densidad Poblacional</b>              |           | 0.339       | 0.789                   |
| <b>Distancia a caminos</b>               |           | 0.107       | 0.249                   |
| <b>Elevación</b>                         |           | 0.049       | 0.113                   |
| <b>Distancia a cuerpos de agua</b>       |           | 0.039       | 0.091                   |
| <b>Pendiente</b>                         |           | 0.034       | 0.079                   |

De acuerdo con las clases de adecuabilidad propuestas para la estructura del paisaje en la SMO, las zonas con muy baja adecuabilidad representan un porcentaje mayor respecto al resto de las categorías por lo que se considera que son las que ofrecen la mayor resistencia para el paso del jaguar (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Composición de la matriz del paisaje propuesta para el Sur de la SMO. De acuerdo a las clases de adecuabilidad en porcentaje

| <b>ID</b>    | <b>Resistencia</b> | <b>Adecuabilidad</b> | <b>Porcentaje</b> |
|--------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| <b>1</b>     | Más baja           | Más alta             | 0.72              |
| <b>2</b>     | Muy baja           | Muy alta             | 0.44              |
| <b>3</b>     | Baja               | Alta                 | 1.00              |
| <b>4</b>     | Medio baja         | Medio alta           | 6.13              |
| <b>5</b>     | Media              | Media                | 14.57             |
| <b>6</b>     | Medio alta         | Medio baja           | 29.23             |
| <b>7</b>     | Alta               | Baja                 | 13.85             |
| <b>8</b>     | Muy alta           | Muy baja             | 27.03             |
| <b>9</b>     | Más alta           | Más baja             | 7.02              |
| <b>Total</b> |                    |                      | 100.00            |



**Figura 5. Estructura del paisaje SMO.** La resistencia para el paso del jaguar se muestra de menor a mayor, conforme se incrementa la resistencia, disminuye la adecuabilidad del hábitat.

## 2.5 Discusión

### Parches de hábitat

La evaluación del modelo ayuda a conocer qué tan cercano es el resultado predicho con la realidad.

La capacidad de predicción de Maxent está condicionada por los parámetros de regularización predeterminados en esta herramienta. Usar un número adecuado de registros y variables concretas durante la modelación, generalmente incide en la obtención de un buen modelo, que se refleja en una buena evaluación por parte del AUC (Anderson y González, 2011).

En este estudio, a pesar del uso de solo variables escenopoéticas y de contar con un mínimo de registros dentro de la región, la capacidad de predicción fue buena, lo cual

puede deberse a la marcada delimitación del área de estudio así como a la confiabilidad de los registros usados.

Al ser la SMO una región con características muy particulares, el uso de variables climáticas permite localizar áreas concretas con similitud en formas de hábitat, sobre todo cuando se considera que la variación ambiental influye en las características fisionómicas y estructurales del tipo de vegetación que se establece en un área (Trejo – Vázquez, 1999).

Particularmente el hábitat del jaguar se distingue por distribuirse en zonas con vegetaciones específicas, además de ser el tipo de vegetación la variable con mayor peso para determinar la presencia o ausencia del jaguar en un espacio geográfico (Colchero *et al*, 2010; Monrroy-Vilchis *et al*, 2008; Rosas-Rosas y López-Soto, 2002).

Por otro lado se ha considerado que cuan más grande sea el número de registros se espera un mejor desempeño en el modelo (Guisan *et al*, 2006); sin embargo, también es necesario tomar en cuenta la confiabilidad de los registros (Mateo *et al*, 2011), que para este estudio, por su procedencia (fototrampeo y recientes), fueron altamente confiables.

Aunado a la confiabilidad de los registros, se cuenta con al menos un registro en cinco de los siete estados incluidos dentro del área de estudio, es decir el 70% del área contiene datos muestrales que alimentaron el modelo.

Conjuntamente con el buen desempeño estadístico del modelo, los resultados generados en el estudio respecto a los parches de hábitat para el jaguar, indican la existencia de áreas con potencial para ser habitadas por este felino, tal como se esperaba en los Estados de: Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo, donde han sido reportados (Caso, 2006; Ramírez – Bravo y López – González, 2006; Villordo – Galván *et al*, 2010; Rodríguez-Soto *et al*, 2011). Así mismo se nota la ausencia de parches en Guanajuato; sin embargo, esta zona ofrece una menor resistencia por lo cual es posible que los jaguares que habitan en Querétaro puedan transitar por esta zona para cubrir algunas de sus necesidades (Ramírez – Bravo y López – González, 2006).

El modelo también determinó áreas nuevas con potencial de hábitat que pueden predecir la presencia de la especie en zonas poco estudiadas, como es el caso de los Estados de Veracruz y Puebla. En consecuencia es importante considerar un análisis de conectividad entre los parches encontrados y las poblaciones de jaguar establecidas en el sur del país.

A pesar de que los parches fundamentales propuestos en este estudio se encuentran separados entre sí por distancias muy grandes, respecto al mayor desplazamiento del jaguar reportado por Sollman *et al*, (2011) (~ 20 km en un macho), es importante resaltar

la presencia y distribución de los stepping-stone dentro de la SMO, los cuales a pesar del grado de fragmentación en la zona de estudio, son esenciales para evitar el aislamiento de los parches fundamentales (Bennett, 2004). Por lo cual las acciones de conservación deben enfocarse en los parches fundamentales, mientras que en los stepping-stone se deben implementar acciones de restauración de tal modo que permitan promover la conectividad entre las poblaciones de jaguar.

Por otro lado se debe considerar que este modelo se ha realizado con la finalidad de evaluar la adecuabilidad del hábitat en el sur de la SMO, por lo cual las áreas representadas aquí deben de ser validados en campo y de esa manera conocer el estado real del hábitat. Sin embargo se ha confirmado la utilización de estos modelos en la elaboración de planes de manejo y conservación de especies prioritarias (Guisan *et al*, 2006). Razón por la cual, los resultados de este estudio pueden evaluarse y de esa manera conocer la viabilidad del corredor para jaguar en la SMO.

### **Matriz de Resistencia**

Para lograr la conectividad en el paisaje se necesita conocer la resistencia que ofrece a los organismos que se desea proteger, ya que no todos los corredores biológicos dispondrán de un bloque continuo, sino más bien es frecuente que sea un zona con diferentes áreas de suelo, poblada y con actividades productivas (Salom Pérez *et al*, 2010).

Mediante la WLC se ha logrado identificar los grados de adecuabilidad y resistencia del paisaje en la SMO usando al jaguar como foco. Se ha determinado también con base en la opinión de expertos las características de lo que sería el hábitat óptimo para el jaguar en la SMO. Los rangos de estas características se encuentran entre los reportados en la literatura para la especie (Conde *et al*, 2010; Quigley y Crawshaw, 1992; Ceballos *et al*, 2005; Rosas-Rosas y López –Soto, 2002; Monrroy Vilchis *et al*, 2008; Villordo-Galván *et al*, 2010). En general el paisaje de la SMO cubre las características físicas y topográficas (INEGI, 2002), propicias para la distribución de la especie.

Sin embargo, el resultado de la matriz refleja una predominancia de zonas con baja adecuabilidad, esto puede deberse a que los rangos en las variables del hábitat óptimo para el jaguar propuestos por los expertos rebasaron los estándares de adecuación de la especie en la SMO, ocasionando una disminución aparente de la disponibilidad de hábitat en el área de estudio.

Otra explicación es que la presencia de zonas de baja adecuabilidad (resistencia en la matriz) es ocasionada por la degradación del paisaje, que a su vez es resultado del uso

extensivo de tierras agrícolas y ganaderas, como ha sido reportado (Williams-Linera *et al.*, 2003; Aguilar-Rivera *et al.*, 2010; Villordo -Galván *et al.*, 2010). Dejando como remanentes de hábitat para la especie a las zonas de mediana y alta adecuabilidad y reafirmando la necesidad de crear un corredor que además de conectar a los núcleos poblaciones del jaguar, permita conservar las regiones de hábitat nativo que no ha sido destruido por la actividad antropogénica.

Finalmente a pesar del alto grado de fragmentación que existe en la SMO y el cual se ve reflejado como zonas con mayor costo para el desplazamiento del jaguar, se propone ampliamente considerar a los stepping –stone dentro de los planes de manejo para la conservación y restauración en este ecosistema como elementos clave para lograr una conectividad entre núcleos de reservas.

## **2.6 Conclusión**

La identificación de los parches potenciales del hábitat y el grado de resistencia en función de los costos de traslado del jaguar, permitieron definir la viabilidad de la SMO como área potencial para promover la dispersión del jaguar.

La matriz de la SMO es heterogénea; sin embargo, existen zonas con menor resistencia que delinean los posibles corredores biológicos para la dispersión del jaguar, y que a su vez estos se interconecten por los stepping-stone permitiendo la persistencia de la población de jaguar a largo plazo.

Sobre la matriz de resistencia es importante aclarar que a pesar de contar con hábitat potencialmente adecuado para el paso de este felino y otros organismos, el paisaje mayoritariamente cuenta con áreas que han sido sobreexplotadas ocasionando una fuerte presión sobre la fauna y flora de esta región.

A pesar de ello, se cuenta con la presencia de especies indicadoras de la calidad del hábitat y es en estos parches donde pueden implementarse los esfuerzos de conservación y restauración que faciliten y a su vez incrementen la dispersión del jaguar, promoviendo la conservación de la especie.

## 2. 7 Literatura citada

- Aguilar-Rivera N., Galindo M.G., Fortanelli M.J y C.S Contreras.2010. Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática de cultivo de caña de azúcar en la región Huasteca (México). Revista Corpoica – Ciencia y tecnología agropecuaria 11(2):144-154.
- Anderson, R.P y González, Jr. I.2011.Species-specific tuning increases robustness to sampling bias in models of species distributions: An implementation with Maxent. Ecological Modelling 222:2796-2811
- Baldwin, R.A. & Bender, L.C. (2008) Den- Site Characteristics of Black Bears in Rocky Mountain National Park, Colorado. The Journal of Wildlife Management, 72, 1717-1724.
- Barredo C., J. I. 1996. Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. RA-MA Editorial. Madrid, España. 259 p.
- Benítez G., A.M.2010.Aproximaciones del hábitat potencial para el jaguar (*Panthera onca*), en la Región Caribe Colombiana. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Escuela de Posgrado. Turrialba Costa Rica.
- Benito de Pando, B y J, Peñas de Jiles.2007.Modelos predictivos aplicados a la conservación de flora amenazada: Invernaderos vs. *Linaria Nigracans* en el sureste árido ibérico. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. 33 – 47.
- Bennett A.F. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la vida silvestre. Blanch J.M (Traductor). IUCN-Unión Mundial para la naturaleza San José Costa Rica. 278 pp
- Bunn, A.G., Urban, D.L. & Keitt, T.H. (2000) Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. Journal of environmental management, 59, 265-278.
- Caso A. 2006. *Situación del jaguar en el Estado de Tamaulipas*. Pp 19 – 25 en Conservación y manejo del jaguar en México estudios de caso y perspectiva (G. Ceballos et al., eds.)Fondo de Cultura Económica – Universidad Nacional Autónoma de México – Wildlife Conservation Societ- CONABIO. 262 pp
- Ceballos G., Chávez C., Zarza H y C Manterola.2005.*Ecología y Conservación del Jaguar en la región de Calakmul*. Biodiversitas. 62: 1-6

- Ceballos, G y G. Oliva (Coords). 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. CONABIO- Fondo de Cultura Económica. México. 986 p.
- Chávez C y Zarza H. 2009. Distribución potencial del hábitat del jaguar y áreas de conflicto humano-jaguar en la Península de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología*. 13:46-62
- Colchero F., Conde D.A., Manterola C, Chavez C., Rivera A y Ceballos G. 2010. Jaguars on the move: modeling movement to mitigate fragmentation from road expansion in the Mayan Forest. *Animal conservation*
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2012. Portal de Geoinformación. En línea <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Conde D.A., Colchero F., Zarza H., Christensen N.L., Sexton J.O., Manterola C., Chavez C., Rivera A., Azuara D y Ceballos G. 2010. Sex matters: Modeling male and female habitat differences for jaguar conservation. *Biological conservation*. 143: 1980-1988.
- Eastman J.R. 2003. IDRISI Kilimanjaro. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Clark Labs.
- Elith J., Phillips S.J., Hastie T., Dudick M., Chee Y.E y C.J Yates. 2011. *A statistical explanation of MaxEnt for ecologists*. *Diversity and Distributions*. 17: 43-57
- Fielding, A.H. y Bell, J.F. (1997) A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24, 38-49.
- Grigione M.M., Menke K., Gonzalez-Lopez C., List R., Banda A., Carrera J., Giordano A.J., Morrison J., Sterberg M., Thomas R y Van Pelt B. 2009. *Identifying potential conservation areas for felids in the USA and Mexico: integrating reliable knowledge across an international border*. *Fauna & Flora international*, Oryx, 43(1): 78-86
- Guisan, A., Broennimann O., Engler R., Vust M., Yoccoz N.G., Lehmann A y N.E. Zimmermann. 2006. Using Niche-Based models to improve the sampling of rare species. *Conservation Biology*, (20) 2:501-511
- Herrera J.M. 2011. El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad de hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas* 20(2): 21-34

- Huerta – Ortega M.A y Peterson A.T.2004. *Modelling spacial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-eastern Mexico*. Diversity and Distributions 10: 39-54.
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía e Informática). 2002. Síntesis de información geográfica del estado de San Luis Potosí. Aguascalientes, Aguascalientes.
- LaRue M.A y Nielsen C.K. 2008. *Modeling Potencial dispersal corridors for coguar in midwestern North American using least-cost path methods*. Ecological Modeling 212: 372-381
- Malczewski, J.2004.*Gis-Based land-use suitability analysis: a critical overview*. Progress in Palanning. 62:3-65
- Mateo R.G., Felicísimo A.M y J.Muñoz.2011.Modelos de distribución de especies:una revisión sintética. Revista Chilena de Historia natural 84:217-240.
- Monrroy -Vilchis O., Sánchez o., Aguilera-Reyes U., Suarez P y V Urios 2008. *Jaguar (Panthera Onca) in the state of Mexico*. The Southwestern Naturalist 53 (4):535-539.
- Nowell, K y P, Jackson.1996. Wild Cats: Status, survey and conservation plan. UICN. Gland, CH. 382p
- Núñez-Perez R.2011. Estimating jaguar population density using camera-traps: a comparison with radio-telemetry estimates.Journal of Zoology 1-7
- Pearce, J. & Ferrier, S. (2000) Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. Ecological Modelling, 133, 225-245.
- Phillips S.J. y M. Dudik. 2008. *Modeling of species distributions with MAXENT: new extensions and a comprehensive evaluation*. Ecography. Pag 31:161-175.
- Quigley H.B y P.G. Crawshaw Jr. 1992. A conservation plan for the jaguar Panthera onca in the pantanal region of Brazil.Biological conservation 61: 149-157
- Rabinowitz A y Zeller K.A.2010. *A range –wide model of landscape connectivity and conservation for the jaguar, Panthera onca*. Biological Conservation, doi:10.1016/j.bicon.2010.01.002
- Ramírez-Bravo, E. O y C.A, López-González. 2006. Determinación de áreas críticas para la supervivencia del jaguar en la Sierra Madre Oriental. Pp 42 – 51 en Conservación y manejo del jaguar en México estudios de caso y perspectiva (G. Ceballos et al., eds.)Fondo de Cultura Económica – Universidad Nacional Autónoma de México – Wildlife Conservation Societ- CONABIO. 262 pp

- Rodríguez – Soto C., Monrroy – Vilchis O., Maiorano L., Boitani L., Faller J.C., Briones M.A., Núñez R., Rosas-Rosas O., Ceballos G y A Falucci.2011. *Predicting potential distribution of the jaguar (Panthera onca) in Mexico: identification of priority areas for conservation*. Diversity and Distributions, 1-12
- Rosas –Rosas O.C y J.H López – Soto. 2002. *Distribución y estado de conservación del jaguar en Nuevo León, México*. Pp 393 – 401 in El Jaguar en el nuevo milenio (R.A Medellín et al., eds.)Fondo de Cultura Económica – Universidad Nacional Autónoma de México – Wildlife Conservation Society. 647pp
- Rosas-Rosas, O.C., Bender, L.C. y Valdez, R. (2008) Jaguar and puma predation on cattle calves in northeastern Sonora, Mexico. *Rangeland Ecology & Management*, 61, 554-560.
- Rosas-Rosas, O.C., Bender, L.C. y Valdez, R. (2010) Habitat correlates of jaguar kill-sites of cattle in northeastern Sonora, Mexico. *Human-Wildlife interactions*, 4, 103-111.
- Saaty, T. L., 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York. USA.
- Salom- Pérez, R., Polisar, J., Quigley, H y K.Zeller.2010.Iniciativa del corredor del jaguar: Un corredor biológico y un compromiso a largo plazo para la conservación. *Mesoamericana* (14) 3.
- Sanderson, E.W., Redford, K.H., Chetkiewicz, C.B., Medellín, R.A., Rabinowitz, A.R., Robinson, J.G., Taber, A.B., 2002. Planning to save a species: the jaguar as a model. *Conservation Biology* 16:58-71
- Seymour, K.L.1989. *Panthera onca*. *The American Society of Mammalogist in Mammalian Species*, No 340.En Línea <http://www.science.smith.edu/msi>
- Sollmann, R.,Malzoni, F.M.,Gardner, B.,Hofer, H.,Jacomó, A.T.A., Mundim, T.N y L. Silveira. 2011. Improving density estimates for elusive carnivores:Accounting for sex-specific detection and movements using spatial capture-recapture models for jaguars in central Brazil.*Biological conservation*.
- Swets, J.A. (1988) Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285-1293.
- Téllez, O., M.A.Hutchinson, H.A. Nix & P. Jones 2011. Desarrollo de coberturas digitales climáticas para México. In: Sánchez-Rojas, G., Ballesteros, B.C. & N. Pavón (Eds.) Cambio Climático.

- Tewes, M. E. y D. Everett. 1986. Status and distribution of the endangered ocelot and jaguarondi in Texas. *In* Cats of the world: biology, conservation, and management, S. D. Miller y D. D. Everett (eds.). National Wildlife Federation, Washington, D.C. p. 147-158
- Torres, N.M., De Marco, J.P., Santos, T., Silveira, L., Almeida J.A., Diniz-Filho J.A. 2012. Can species distribution modeling provide estimates of population densities? A case study with jaguars in the Neotropics. *Diversity and Distributions* 18: 615-627
- Torres, R y J.P. Jayat. 2010. Modelos predictivos de distribución para cuatro especies de mamíferos (Cingulata, artiodactyla y rodentia) típicas del chaco en Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 17(2): 335-352
- Trejo – Vazquez, I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. *Investigaciones geográficas (Mx)*. 39: 40-52
- Villordo-Galvan J.A., Rosas-Rosas O.C., Clemente-Sánchez F., Martínez-Montoya J.F., Tarango-Aranbula L.A., Mendoza-Martínez G., Sánchez-Hermosillo M.D y L.C Bender. 2010. *The jaguar (Panthera Onca) in San Luis Potosí México*. *The Southwestern Naturalist* 55 (3):394-401
- Williams – Linera G., Rowden A. y A.C Newton. 2003. Distribution and stand characteristics of relict populations of Mexican beech (*Fagus grandifolia* var. mexicana). *Biological Conservation* 109: 27-36

## **CAPITULO III. IDENTIFICACIÓN DE CORREDORES BIOLÓGICOS PARA JAGUAR EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL**

### **3.1 Introducción**

Los efectos adversos de la fragmentación son particularmente evidentes en áreas dominadas por los humanos y donde el hábitat de las especies se encuentra en parches separados. Las especies pueden persistir ante estas condiciones, si tienen la oportunidad de desplazarse libremente entre los parches, para esto requieren condiciones que les permitan establecer rutas de uso potencial, para lograr la conectividad entre las poblaciones. Sin embargo los frecuentes cambios en el uso del suelo, causan un disturbio en el movimiento de las especies ocasionando una pérdida en la conectividad (Duke *et al*, 2009).

La pérdida de la conectividad, puede alterar las poblaciones de los vertebrados, obligándolas a tomar rutas alternas viajando a través de caminos que implican un mayor gasto energético, reduciendo su viabilidad y un decremento en su diversidad. Las poblaciones con amplios rangos de distribución, y específicamente las poblaciones de carnívoros pueden verse fuertemente afectadas por los cambios en su hábitat (Salek *et al*, 2009).

Promover la conectividad del paisaje es probablemente la clave para mitigar los efectos de la fragmentación y la pérdida de la conectividad. El medio para lograrlo es a través de la identificación, restauración de hábitat y conservación de los corredores biológicos. (Duke *et al*, 2009; Bennett, 2004 y Crooks y Sanjayan, 2006).

La identificación de los corredores biológicos, generalmente es a través de cartografía y se basa en inferencias de patrones de movimiento (corredores funcionales) o del hábitat (corredores estructurales). Los corredores funcionales típicamente han sido identificados mediante análisis de las características en la migración y comportamiento de la especie. Este método se realiza en el campo a través del seguimiento de collares con un sistema de posicionamiento global. Los corredores estructurales se evalúan utilizando herramientas ecológicas de análisis de modelos espaciales en un entorno SIG, tales como la identificación de rutas de menor costo, para simular los corredores teóricos con base en las características del paisaje y preferencias del hábitat (La Rue y Nielsen, 2008; Cushman *et al*, 2008).

El análisis de las rutas de menor costo, Least-Cost-Path (LCP) por sus siglas en inglés, se basa en cómo la trayectoria del movimiento de un animal puede verse afectada por las características del paisaje. Los modelos creados a través de estos métodos se basan normalmente en los mapas raster que se dividen en paisajes de celdas con valores únicos que representan diferentes grados en la calidad del hábitat (Epss *et al* 2007; Rouget *et al*, 2006).

Mediante un análisis SIG se genera una cuadrícula en la cual cada celda obtendrá un valor por el costo de movimiento, desde un origen hasta un destino, a través de una matriz de resistencia. Estos resultados son generados por un modelo que crea el itinerario más probable, es decir aquel en el que al seleccionar una combinación de las celdas estas acumulan el menor costo de resistencia con la menor distancia entre dos parches de hábitat adecuado y con el menor número de barreras al movimiento, y por lo tanto, la mejor ruta teórica para la dispersión un animal (LaRue y Nielsen, 2008).

El modelo que se presenta en esta tesis se conforma por cinco componentes principales:

- 1) **Origen**, se refiere a los sitios donde se ha verificado la presencia de la especie y espacialmente se representa como un vector de puntos geográficos. De estos puntos se busca encontrar hacia donde se podrían mover.
- 2) **Destino**, representa los sitios donde se cree podría estar presente la especie, ya que corresponde a áreas con hábitat potencialmente adecuado para esta. No necesariamente corresponde al destino final de la especie, su función podría ser también como un stepping-stone que le permita a la especie circular y estar en conexión.
- 3) **Matriz de resistencia**, se refiere al área que rodea a los parches de hábitat y por la cual deberán viajar los individuos representados en los sitios de origen, entre un parche y otro. La matriz de resistencia es una red espacial categórica que representa los diferentes grados en la calidad del hábitat.
- 4) **Matriz de costos**, espacialmente es una red continua, que representa con base en la resistencia del paisaje y la distancia entre centros de origen, los costos de movimiento.
- 5) **Rutas de menor costo**, se representan como líneas. Son el resultado de la elección entre aquellas celdas con la distancia más corta y con los costos más bajos. Pueden interpretarse como corredores potenciales.

## **3.2 Objetivos**

### **General**

Identificar y proponer corredores biológicos asociados con los movimientos de dispersión del jaguar

### **Específico**

Identificar la ruta o rutas de menor costo y la más viable que permitan la dispersión del jaguar (*Panthera onca*), en la Sierra Madre Oriental.

## **3.3 Hipótesis**

La Sierra Madre Oriental cuenta con las características adecuadas que permiten la dispersión del jaguar a través de un corredor biológico continuo.

## **3.4 Método**

Para lograr la identificación del corredor SMO se necesita de los cinco componentes que lo conforman: origen, destino, matriz de resistencia, matriz de costos y Rutas de menor costo.

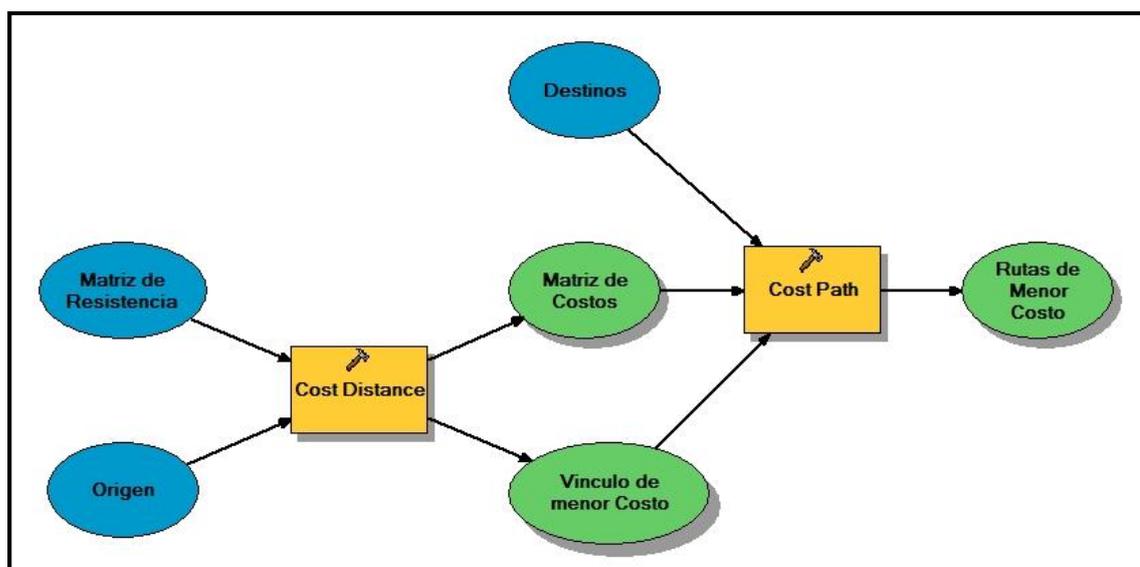
En esta investigación se han considerado como puntos de origen cada uno de los registros de jaguar localizados en la SMO y como destino cada uno de los parches con hábitat potencial para los jaguares identificados y propuestos en esta tesis, así mismo se ha creado con anterioridad la matriz de resistencia requerida (capítulo II).

La matriz de costos, representa los costos acumulados del desplazamiento entre las celdas de recorrido y considera la distancia y resistencia entre los puntos de origen. Esta se generó, usando la herramienta “*Cost Distance*”(ESRI, 2006).

La identificación de las rutas de menor costo se realizó usando la herramienta “*Cost Path*” (ESRI, 2006), considerando como una zona independiente a cada uno de los parches destino (Figura 6 - Cushman *et al*, 2008; LaRue y Nielsen, 2008; Kautz *et al*, 2006).

En seguida se calculó la longitud de cada ruta y fueron seleccionadas solo aquellas con una longitud mayor a 20 km debido a que esta es la distancia máxima que recorre un jaguar regularmente (Sollman *et al*, 2011). Las rutas seleccionadas se consideran como las rutas de dispersión y el resto se han clasificado como rutas de tipo regular. Así finalmente en conjunto todas las rutas identificadas y el resto de los componentes antes descritos conforman el corredor biológico potencial, para el jaguar en el sur de la SMO.

Para su interpretación este corredor se regionalizó de Norte a Sur, considerando a cada Estado como una región independiente. Así mismo se describió la relación entre los tipos de rutas y parches de hábitat respecto a su ubicación con las Áreas Naturales Protegidas (ANP) dentro de la zona de estudio.

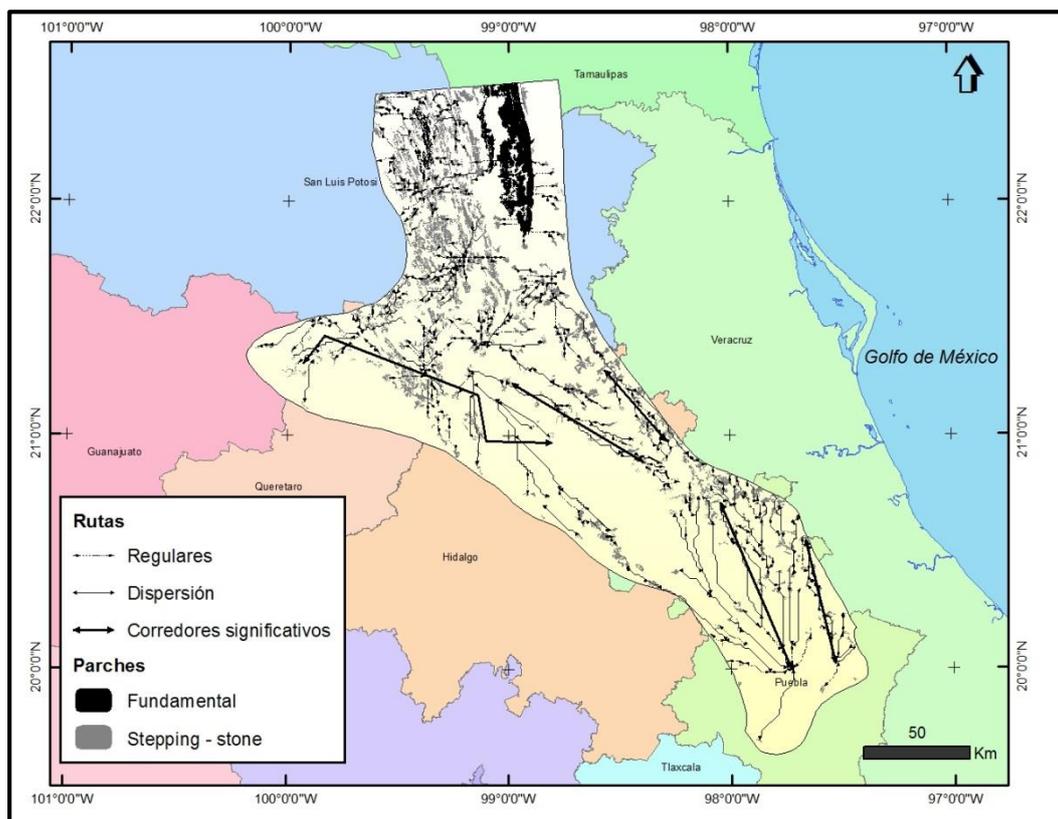


**Figura 6 Obtención de rutas.** Diagrama que ilustra el procedimiento LCP. Los cuadros amarillos indican las herramientas y los óvalos los datos de entrada (azul) y de salida (verde).

### 3.5 Resultados

Los resultados de la simulación del análisis LCP muestran que la dispersión de jaguar en la SMO puede describirse de forma general de la siguiente manera; desde el norte hacia el sur del área de estudio, la dispersión inicia en SLP estado en el cual se encuentra una de las poblaciones de jaguar reconocidas en México (Villordo-Galvan *et al*, 2010, Hernández Saint-Martin, En Prep) y concluye en el norte de Puebla, justo en los límites del complejo montañosos SMO.

Los resultados del analisis LCP indican que existen un total de 61 rutas de dispersión > 2000 km, y más de 200 rutas de tipo regular (Figura 7). El mayor número de rutas se encuentra en (Cuadro 8).



**Figura 7. Corredor Sierra Madre Oriental.** Distribución y clasificación de las rutas de menor costo potencialmente usadas por el jaguar en el sur de la SMO.

Los corredores para el jaguar en la SMO incluyen los siguientes potenciales movimientos:

1. Queretaro Jalpan de Serra, Landa de Matamoros and Arroyo Seco en Querétaro son áreas con hábitat adecuado donde las rutas pueden iniciar o finalizar Tepehuacán de Guerrero y Jacala de Ledezma en San Luis Potosí e Hidalgo, respectivamente. La siguiente ruta inicia en San Ciró de Acosta y Lagunillas in San Luis Potosi y finaliza en Xichú municipio de Guanajuato.
2. Se encontro que el mayor número de rutas de dispersión se localizan en Hidalgo en las siguientes localidades: a) Pisaflores, Chapulhuacan, Tlanchinol and Yahualica; b) San Felipe Orizatlan, Hujutla de Reyes, and Atlapexco, Huatla. Algunas rutas regulares van hacia Veracruz pasando a través de Chiconamel,
3. En Puebla, se describen dos rutas de dispersión interconectadas por rutas regulares que pueden actuar como corredores de jaguar a las zonas del norte del estado de Puebla. Este corredor es particularmente importante para la dispersión jaguar hacia otras poblaciones de jaguares en el sur de México. Una de estas rutas se encuentra en el oeste de Puebla e inicia en los stepping-stone de Ixhuatlan de Madero, municipio de Veracruz. Esta ruta es de particular importancia ya que pasa a traves de la Reserva de la Cuenca Hidrográfica del Rio Necaxa, cruzando por los municipios d; 3a) Francisco Z.Mena, Venustiano Carranza, Xicotepec, Zihuatehutla; y 3b) una ruta alternativa a traves de Tuzamapa de Galeana, Jonotla and Zoquiapan.

**Cuadro 8.** Longitud de las rutas de menor costo de acuerdo al tipo de movimiento potencial de uso.

| Region          | Dispersal |               | Travel     |               |
|-----------------|-----------|---------------|------------|---------------|
|                 | Number    | Length (km)   | Number     | Length (km)   |
| Tamaulipas      | 0         | 0             | 2          | 19.7          |
| San Luis Potosí | 14        | 417.2         | 131        | 1085.9        |
| Guanajuato      | 2         | 47.2          | 3          | 37.5          |
| Querétaro       | 4         | 118.3         | 32         | 282.5         |
| <b>Hidalgo</b>  | <b>19</b> | <b>697.2</b>  | <b>40</b>  | <b>372.7</b>  |
| Puebla          | 15        | 540.2         | 27         | 320.4         |
| Veracruz        | 7         | 242.1         | 26         | 213.0         |
| <b>Total</b>    | <b>61</b> | <b>2062.2</b> | <b>261</b> | <b>2331.7</b> |

### 3.6 Discusión

Comprender el papel de la matriz como hábitat para la fauna silvestre, en paisajes fragmentados es un factor importante en la conservación de los mamíferos ya que la distribución de sus componentes afecta el modo de los movimientos individuales en las diferentes especies (Bennet y Mulongay, 2006).

El concepto de corredor biológico ha evolucionado hacia una tendencia más integral, quedando como un mosaico de diferentes tipos de uso del suelo y que es manejado para conectar fragmentos de bosque a través del paisaje (Bennett y Mulongoy, 2006)

En este trabajo se han analizado los componentes de la matriz y específicamente su función como corredor potencial para la dispersión del jaguar a través de la SMO. El análisis se desarrolló usando la técnica LCP. La cual a pesar de tener algunas desventajas (Duke *et al*, 2009), se ha seguido usando pues optimiza el tiempo y los recursos, además ha sido verificada en trabajos con escalas regionales (Zeller y Salom-Pérez, 2008), por lo que las rutas que se describen en este trabajo se considera son lo más cercanas a la realidad, aunque no se debe olvidar su validación en campo.

Por otro lado la SMO es un hábitat fragmentado, pero que conserva remanentes de hábitat original (Arriaga *et al*, 2000) resguardado en las Áreas Naturales Protegidas, así como también en otras áreas que en correspondencia con las Regiones Terrestres Prioritarias, conforman un mosaico en el cual se puede identificar la existencia potencial de un corredor biológico que permite la dispersión del jaguar.

De acuerdo con la CONABIO en la región de estudio se ubican cuatro Regiones Terrestres Prioritarias (RTP). Tres de estas (RTP-096, RTP-101, RTP-102) se caracterizan por cumplir con la función de corredor biológico y la faltante (RTP-105 CUETZLAN) no cuenta con información que respalde esta función (Arriaga *et al*, 2000).

Este estudio confirma los datos proporcionados por la CONABIO, pero también aporta información nueva sobre la RTP-105 la cual funge como un sitio donde confluyen o inician distintas rutas de dispersión en la Sierra Norte de Puebla por lo cual puede considerarse a esta zona como clave con una función de conectividad importante como parte del corredor SMO.

Aunado a los datos existentes sobre cada RTP se han realizado estudios acerca de los vertebrados que se distribuyen a lo largo de la SMO. Estos indican la presencia de especies con especial importancia para este trabajo, las presas del jaguar, debido a que la distribución del jaguar depende en gran parte de la presencia de estas (López- González y Miller, 2002).

Las principales presas del jaguar en México son; el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), el venado temazate (*Mazama temama*), el pecari (*Tayassu sp*), el tejon (*Nausa Narica*), el armadillo (*Dasypus novencictus*) y el tepezcuintle (*Cuniculus paca* - Foster *et al*, 2010; Rosas-Rosas *et al*, 2008; Nuñez *et al*, 2000). Estas han sido registradas a lo largo de la SMO en San Luis Potosí (Avila-Najera *et al*, 2011), Querétaro (Ortega – Urrieta, 2005) Hidalgo (Sánchez-Rojas *et al*, 2009; Mejenes- López *et al*, 2010) y Puebla (Ramírez-Bravo *et al*, 2010; Villareal *et al*, 2008), y claramente son un indicador del potencial de esta región como corredor para el jaguar.

Sin embargo a pesar de que la conectividad en la SMO no es de tipo continuo debido a los diversos procesos de pérdida de hábitat que enfrenta, existe la posibilidad de un corredor potencial que provee las condiciones de hábitat para el desplazamiento de esta especie.

Este corredor inicia en un área que contempla los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí. Continuando a través de posibles rutas que indican una conectividad directa con el estado de Querétaro (Villordo- Galvan *et al*, 2010).

En Querétaro se han encontrado reportes recientes sobre la presencia del jaguar, al igual que se ha reportado la presencia de sus presas y las condiciones de hábitat que permiten al jaguar cubrir algunas de sus necesidades básicas (Tellez-Guiron y Lopez-Forment, 1995). Estas mismas condiciones se han registrado en el noreste de Hidalgo (Mejenes- López *et al*, 2010) sin embargo este estado no ha sido estudiado aun y los registros que existen sobre el jaguar son muy antiguos, en este estudio se muestra un importante número de rutas que permiten la dispersión del jaguar, por lo cual es una zona clave para comprobar el desplazamiento del jaguar a través de la SMO y es donde se deben enfocar los esfuerzos, ya que las rutas se conectan directamente en áreas de Veracruz y de Puebla, el último es importante ya que en el existen posibilidades de conexión con Oaxaca que es el estado donde recientemente se han hallado registros de jaguar (Briones *et al*, 2012).

En Puebla, las rutas propuestas deben analizarse detalladamente ya que se encuentran a distancias muy cercanas entre sí ( $\geq 20\text{km}$ ). Lo cual podría indicar que existe una fuerte degradación del hábitat que ocasiona una mayor resistencia en el hábitat para el paso del jaguar (figura 6).

A pesar de esta situación, la ruta localizada más hacia el noroeste puede ser la mejor opción para evaluar en campo, debido a que se ubica cerca de pequeños fragmentos de hábitat y además cuenta con rutas regulares que facilitan el traslado de la especie. Además esta cruza por el área de la cuenca Hidrográfica del Rio Necaxa que al ser un área protegida con categoría de manejo para su conservación asegura la viabilidad de la zona para la sobrevivencia de este felino, así mismo su similitud con la Sierra del Abra Tanchipa en SLP, amplía el espectro para la distribución del jaguar en la SMO y su dispersión a través de paisajes con vegetación secundaria y zonas agrícolas ganaderas.

### **3.7 Conclusión**

La Sierra Madre Oriental es un sistema que de acuerdo con sus características topográficas y climáticas presenta una diversidad de ecosistemas, que debido a los procesos de fragmentación, han sido degradados quedando solo algunos relictos de estos de forma aparentemente aislada entre sí.

Cada fragmento con las características de hábitat requeridas por el jaguar conforman una escalera de stepping-stone que pueden facilitar la dispersión de este felino dentro de la Sierra Madre Oriental.

Existen evidencias de la existencia de los “stepping-stone” en forma de manchones con vegetación adecuada y presencia de presas en algunos de los parches. Sin embargo el tamaño de estos es muy pequeño por lo que es necesario verificar en campo el tamaño real de estos parches y su posible función como corredor, para iniciar en las mejores zonas un programa de restauración que promueva la conectividad de las especies.

### 3.5 Literatura citada

- Ávila-Nájera, D.M., Rosas-Rosas O.C., Tarango-Arámbula L.A., Martínez-Montoya J.F., E. Santoyo-Brito. 2011. Conocimiento uso y valor cultural de seis presas del jaguar (*Panthera onca*) y su relación con este, en San Nicolás de los Montes, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82:1020-1028
- Arriaga, L., J.M Espinoza, C.Aguilar , E.Martinez, L.Gomez y E.Loza (coordinadores).2000.Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad de México.
- Bennett A.F. 2004. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la vida silvestre. Blanch J.M (Traductor). IUCN-Unión Mundial para la naturaleza San José Costa Rica. 278 pp
- Bennett G y K.J Mulongay. 2006. Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones. Secretariat of the convention on Biological Diversity, Montreal, Technical series No.23, 100 pag.
- Briones-Salas, M., Lavariega, M.C e I.Torres- Lira.2012.Distribucion actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83:246-257
- Cushman S.A., Mckelvey K.S y Schwartz M.K.2008.*Use of empirically derived source-destination models to map regional conservation corridors*. *Conservation Biology* 23 (2): 368-376.
- Crooks K.R y M.A Sanyajan (eds). 2006 .Connectivity conservation: Maintaining connections for nature. Cambridge University Press.
- Duke D.L., Hebblewhite M.,Paquet P.C., Callaghan C y M.Percy. 2009. Restoring a Large-carnivore corridor in Banff National Park.Pp 261- 272, in Large mammal restoration: ecological and sociological challenges in the 21 st century (D.S Maehr et al., eds) ISLAND PRESS.
- Epps C.W., Wehausen J.D., Bleich V.C., Torres S.G & Brashares J.S. 2007. *Optimizing dispersal and corridor models using landscape genetics*. *Journal of Applied Ecology* 44: 714-724.

- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2006. ArcGis Professional Gis for desktop, version 9.3.
- Foster R.J., B.J Harmsen, B.Valdes, C.Pomilla y C.P.Doncaster. 2010. Food habits of jaguars and pumas across a gradient of human disturbance. *J.Zool.(Lond)* 280:309-318
- Kautz R., Kawula R., Hootcor T., Comiskey J., Jansen D., Jennings D., Kasbohm J., Mazzoti F., McBride R., Richardson L y K . Root. 2006. *How much is enough? Landscape-scale conservation for the florida panther*. *Biological conservation* 130:118-133
- LaRue M.A y Nielsen C.K. 2008. *Modeling Potential dispersal corridors for cougar in midwestern North American using least-cost path methods*. *Ecological Modeling* 212: 372-381.
- López -González C.A y B.J.Miller. 2002. Do jaguars (*Panthera onca*) depend on large prey?. *Western North American Naturalist*. 62(2): 218-222.
- Mejenes – López S.M., Hernandez-Bautizta M., Barragan-Torres J y J.Pacheco – Rodriguez. 2010. Los mamíferos en el Estado de Hidalgo, Mexico. *Theyra* 1(3):161-188.
- Núñez, R., Miller B y F Lindzey. .2000. Food habits of jaguars and pumas in Jalisco, México. *J.Zool.Lond*, 252: 373-379
- Ortega-Urrieta, A. 2005. Distribución y uso del hábitat del jaguar (*Panthera onca*) y el puma (*Puma concolor*) en la reserva de la biosfera Sierra Gorda, Querétaro. Mexico. M.C. Tesis, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Ramirez-Bravo O.E., Schinkel B.S y C.Hernandez-Satin. 2010. Nuevo registro de ocelote (*Leopardus pardalis*) para el estado de Puebla. *Theyra* 1(1):91-94
- Rosas-Rosas, O.C., Bender L.C y R. Valdez. 2008. Jaguar and puma predation on cattle calves in northeastern Sonora, Mexico. *Rangeland Ecol Manage*, 61: 554-560

- Rouget M., Cowling R.M., Lombard A.T., Knight A.T & Kerley G.I. 2006. *Designing large-scale conservation corridors for pattern and process*. Conservation Biology 20 (2): 549-561.
- Salek M., Kreisinger J., Sedlacek F y T. Albrecht. 2009. Corridor vs. hayfield matrix use by mammalian predators in an agricultural landscape. Agriculture, Ecosystems and Environment 134: 8 - 13
- Sanchez-Rojas G., Aguilar. Miguels C y E. Hernandez-Cid. 2009. Estudios Poblacional y uso de hábitat por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), en un bosque templado de la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México. Tropical conservation Science 2(2):204-214.
- Sollman, R., Malzoni, F.M., Gardner, B., Hofer, H., Jacomo, A.T.A., Mundim, T.N y L. Silveira. 2011. Improving density estimates for elusive carnivores: Accounting for sex-specific detection and movements using spatial capture-recapture models for jaguars in central Brazil. *Biological conservation*.
- Tellez-Guiron G y W. Lopez-Forment. 1995. *Panthera onca veraeacruis* (Carnivora: Felidae) en Querétaro, México. Revista Mexicana de Mastozoología 1:73-75.
- Villareal-Espino Barros O.A., Campos – Armendia L.E., Castillo- Martinez T.A., Cortes M.I., Plata-Perez F.X y G.D Mendoza Martinez. 2008. Composición de la dieta botánica del venado temazate rojo (*Mazama temama*), en la sierra nororiental del estado de Puebla. Universidad y Ciencia 24 (3): 183-188.
- Villordo-Galvan J.A., Rosas-Rosas O.C., Clemente-Sánchez F., Martínez-Montoya J.F., Tarango-Aranbula L.A., Mendoza-Martínez G., Sánchez-Hermosillo M.D y L.C Bender. 2010. *The jaguar (Panthera Onca) in San Luis Potosí México*. The Southwestern Naturalist 55 (3):394-401
- Zeller K.M y R. Salom-Pérez. 2008. Validación de campo del corredor del jaguar: Sector Barbilla en el área entre la cordillera volcánica central y la cordillera de Talamanca.

Reporte final al Sistema de Áreas de conservación . Wildlife Conservation Society-  
Panthera, 38 pag.

ANEXO 1  
ENCUESTA A EXPERTOS

La presente encuesta se realiza cómo parte del trabajo de investigación de la estudiante de maestría en ciencias en el Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados Gmelina Dueñas López y el cual tiene como objetivo obtener la opinión de los expertos sobre las variables más importantes para determinar los costos del jaguar al desplazarse entre distintos hábitats. Es importante aclarar que el mencionado estudio se desarrolla en el área de estudio comprendida a la región sur de la Sierra Madre Oriental de México. Se agradece de antemano su colaboración para obtener la información solicitada.

**1.- Datos generales del encuestado**

Institución: \_\_\_\_\_ Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Nombre del entrevistado: \_\_\_\_\_ Especialidad: \_\_\_\_\_

**2.- Comparación de variables**

En este ejercicio se van a comparar las variables listadas (una a una) para determinar, de acuerdo al juicio de cada experto, que tan importante es la variable, con respecto a la otra, para determinar el costo del desplazamiento del jaguar entre parches de hábitat. En esta comparación se utilizará la escala propuesta por Saaty (1980) que considera los siguientes valores para cada preferencia:

A. Escala de preferencia

| Valor | Preferencia                    |
|-------|--------------------------------|
| 1     | Igualmente importante          |
| 3     | Moderadamente más importante   |
| 5     | Fuertemente más importante     |
| 7     | Muy fuertemente más importante |
| 9     | Extremadamente más importante  |

Nota: Puede asignar un valor intermedio si lo considera pertinente (por ejemplo, si tiene duda si es entre igualmente importante o moderadamente más importante, puede asignar el valor de 2).

De acuerdo a la escala presentada compare cada variable con las demás y asigne un valor de acuerdo a que tanto más importante es la variable comparada en relación a la otra como determinante del costo para el desplazamiento del jaguar. Las calificaciones se registrarán en la parte derecha de la matriz (**Es decir en parte sin colorear**).

**Por ejemplo**, al comparar la variable Distancia a caminos (de la columna izquierda con la variable Pendiente de la hilera superior, si se considera que la Distancia a caminos es moderadamente más importante que la variable pendiente para determinar el costo de desplazamiento, se asignaría un valor de 3 (Marcado en color rojo) en el cuadro respectivo de la matriz, repitiéndose el procedimiento hasta comparar cada una de las

| Criterio                          | Distancia a caminos | Pendiente | Uso de suelo y tipo de vegetación | Elevación | Distancia a cuerpos de agua | Densidad Poblacional |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|----------------------|
| Distancia a caminos               | 1                   | 3         |                                   |           |                             |                      |
| Pendiente                         |                     | 1         |                                   |           |                             |                      |
| Uso de suelo y tipo de vegetación |                     |           | 1                                 |           |                             |                      |
| Elevación                         |                     |           |                                   | 1         |                             |                      |
| Distancia a cuerpos de agua       |                     |           |                                   |           | 1                           |                      |
| Densidad Poblacional              |                     |           |                                   |           |                             | 1                    |

variables de la columna con la de las hilera

Nota: si al comparar una variable de la columna con otra considera usted que la variable de la hilera es más importante que la de la columna comparada, entonces asigne el valor pero indique que la variable de la hilera es la más importante que la variable de la columna. Por ejemplo, si al comparar la variable Distancia a caminos con la variable Pendiente, usted considera que la pendiente es más importante que la elevación en un grado modernamente más importante, usted registraría el valor de la siguiente manera:

| Criterio                          | Distancia a caminos | Pendiente        | Uso de suelo y tipo de vegetación | Elevación | Distancia a cuerpos de agua | Densidad Poblacional |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|----------------------|
| Distancia a caminos               | 1                   | 3<br>(Pendiente) |                                   |           |                             |                      |
| Pendiente                         |                     | 1                |                                   |           |                             |                      |
| Uso de suelo y tipo de vegetación |                     |                  | 1                                 |           |                             |                      |
| Elevación                         |                     |                  |                                   | 1         |                             |                      |
| Distancia a cuerpos de agua       |                     |                  |                                   |           | 1                           |                      |
| Densidad Poblacional              |                     |                  |                                   |           |                             | 1                    |

**3. De acuerdo a las instrucciones dadas en los párrafos anteriores llene la siguientes Matrices:**

## 1. Matriz general del paisaje

| <b>Criterio</b>                   | Distancia a caminos | Pendiente | Uso de suelo y tipo de vegetación | Elevación | Distancia a cuerpos de agua | Densidad Poblacional |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------|----------------------|
| Distancia a caminos               | 1                   |           |                                   |           |                             |                      |
| Pendiente                         |                     | 1         |                                   |           |                             |                      |
| Uso de suelo y tipo de vegetación |                     |           | 1                                 |           |                             |                      |
| Elevación                         |                     |           |                                   | 1         |                             |                      |
| Distancia a cuerpos de agua       |                     |           |                                   |           | 1                           |                      |
| Densidad Poblacional              |                     |           |                                   |           |                             | 1                    |

## 2. Matrices de valores para cada uno de los criterios

### Criterio 1. Altitud

| <b>Altitud</b> | 16 – 1000 | 1000 - 2000 | 2000 - 3000 | 3000 - 3169 |
|----------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 16 - 1000      | 1         |             |             |             |
| 1000 - 2000    |           | 1           |             |             |
| 2000 - 3000    |           |             | 1           |             |
| 3000 - 3169    |           |             |             | 1           |

### Criterio 2. Pendiente en porcentaje (%)

| <b>Pendiente</b> | 5 | 5 a 30 | 30 a 100 | > 100 |
|------------------|---|--------|----------|-------|
| 5                | 1 |        |          |       |
| 5 a 30           |   | 1      |          |       |
| 30 a 100         |   |        | 1        |       |
| > 100            |   |        |          | 1     |

### Criterio 3: Distancia a caminos en kilómetros

| <b>Distancia a caminos</b> | 0 a 2 | 2 a 4 | 4 a 8 | 8 a 16 | > 16 |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|------|
| 0 a 2                      | 1     |       |       |        |      |
| 2 a 4                      |       | 1     |       |        |      |
| 4 a 8                      |       |       | 1     |        |      |
| 8 a 16                     |       |       |       | 1      |      |
| > 16                       |       |       |       |        | 1    |

**Criterio 4. Distancia a cuerpos de agua en kilómetros.**

| <b>Distancia a cuerpos de agua</b> | 0 a 2 | 2 a 4 | 4 a 8 | 8 a 16 | > 16 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|--------|------|
| 0 a 2                              | 1     |       |       |        |      |
| 2 a 4                              |       | 1     |       |        |      |
| 4 a 8                              |       |       | 1     |        |      |
| 8 a 16                             |       |       |       | 1      |      |
| > 16                               |       |       |       |        | 1    |

**Criterio 5. Tipos de cobertura vegetal**

| <b>Cobertura vegetal</b> | Agrícola/<br>Ganadera | Bosques | Matorral | Otro tipo* | Selvas |
|--------------------------|-----------------------|---------|----------|------------|--------|
| Agrícola/ Ganadera       | 1                     |         |          |            |        |
| Bosques                  |                       | 1       |          |            |        |
| Matorral                 |                       |         | 1        |            |        |
| Otro tipo*               |                       |         |          | 1          |        |
| Selvas                   |                       |         |          |            | 1      |

\*Otro tipo: Se interpreta como manglares, acahuales y pastizales naturales.

**Criterio 6. Densidad Poblacional (Hab/km<sup>2</sup>)**

| <b>Densidad poblacional</b> | 0 - 7 | 7 - 14 | 14 - 28 | > 28 |
|-----------------------------|-------|--------|---------|------|
| 0 - 7                       | 1     |        |         |      |
| 7 - 14                      |       | 1      |         |      |
| 14 - 28                     |       |        | 1       |      |
| > 28                        |       |        |         | 1    |

**4.- De acuerdo a su criterio, ¿Cuál debe ser el tamaño de fragmento mínimo viable que permita a individuos adultos y juveniles desplazarse a través del mismo?**

---

---

---

---

**5.- Considera que debería agregarse alguna variable más a este estudio, ¿cuál y bajo qué criterios se podría evaluar?**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**¡GRACIAS!**