

Cita bibliográfica: Errejón Gómez, J. C., Vila Subirós, J., Flores Flores, J. L., Reyes Hernández, H. & Muñoz-Robles, C. A. (2018). Conectividad de los ecosistemas entre las reservas de la biosfera “El Cielo” y “Sierra del Abra Tanchipa” en México. *Investigaciones Geográficas*, (70), 181-196. <https://doi.org/10.14198/INGEO2018.70.09>

Conectividad de los ecosistemas entre las reservas de la biosfera “El Cielo” y “Sierra del Abra Tanchipa” en México

*Connectivity of ecosystems between the biosphere reserves
“El Cielo” and “Sierra del Abra Tanchipa” in Mexico*

Julio César Errejón Gómez¹
Josep Vila Subirós²
José Luis Flores Flores³
Humberto Reyes Hernández⁴
Carlos Alfonso Muñoz-Robles⁵

Resumen

Las actividades humanas generan procesos que afectan a la estructura y las funciones ecológicas de los ecosistemas, en consecuencia es relevante valorar el estado de los hábitats para la vida silvestre. Para este trabajo se evaluaron los cambios en la conectividad de las selvas bajas, medianas y bosques templados localizada entre dos reservas de la biosfera para el periodo 1993-2014. Las reservas analizadas fueron “El Cielo” en el sur del estado de Tamaulipas y la “Sierra del Abra-Tanchipa” en el noreste de San Luis Potosí. Con base en el análisis del paisaje y de las necesidades biológicas del jaguar (*Panthera onca*) se generó cartografía para localizar las superficies que facilitan la movilidad de la especie en el área. Se concluyó que existe conectividad entre las áreas naturales protegidas. Sin embargo, la construcción de infraestructuras y el avance de las actividades económicas se convierten en una barrera importante, que amenaza con coactar la movilidad y el intercambio genético del jaguar y otras especies que se desplazan entre las reservas de la biosfera. Es indispensable diseñar y aplicar herramientas de gestión integral del territorio que permitan el manejo apropiado de los ecosistemas en el área.

Palabras Clave: Conectividad; deforestación; áreas naturales protegidas; *Panthera onca*.

Abstract

Human activities give rise to processes which affect the structure and ecological functions of ecosystems. Therefore it is important to assess the wildlife habitat conditions. In this research work, quantitative and cartographic methods were used to evaluate the connectivity between two biosphere reserves. The first one is located in the southern state of Tamaulipas ("El Cielo") and the second one "Sierra del Abra-Tanchipa" is in northeastern San Luis Potosi. According to the landscape analysis and the biological necessities of the jaguar (*Panthera Onca*), cartography was produced to locate the surfaces which favor the mobility of this species in the area. The research work concluded that there is connectivity between

1 Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. julio.errejon@gmail.com

2 Departamento de Geografía, Universitat de Girona, España. josep.vila@udg.edu

3 Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. joseluis.flores@uaslp.mx

4 Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. hreyes@uaslp.mx

5 Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. carlos.munoz@uaslp.mx

the protected natural areas; however the construction of infrastructure and the progress of economic activities are becoming a major barrier that threatens to cut off mobility and hinder the genetic exchange of the jaguar and other species that move between the biosphere reserves. It is essential that comprehensive territorial management tools are designed; which will help to manage the ecosystems in the area properly.

Keywords: connectivity; deforestation; protected natural areas; *Panthera onca*

1. Introducción

Las comunidades arbóreas se distribuyen en espacios donde existen una serie de condiciones bióticas y abióticas aptas para el crecimiento y reproducción de las especies vegetales leñosas (Woodward, 1987; Matías, 2012). Estos ecosistemas pueden ser selvas, bosques y vegetación madura en proceso de sucesión secundaria. Particularmente las comunidades arbóreas cumplen con funciones biofísicas importantes, tales como sumideros de carbono, protección y formación de suelos, incidencia sobre los ciclos hidrogeológicos y hábitat de innumerables especies animales y vegetales (Ruiz, García y Sayer, 2007).

A pesar de estos significativos aportes, las actividades humanas históricamente contribuyeron a la disminución, fragmentación y deterioro progresivo de los bosques y selvas en todo el mundo (Aguilar, Martínez y Arriaga, 2000; Cayuela, 2006; Morera, Pintó y Romero, 2007). Una referencia es México, donde se pierden aproximadamente 155.000 ha por deforestación cada año (Comisión Nacional Forestal, 2013). En la medida que esto sucede, se pone en riesgo la funcionalidad ecológica de los espacios arbóreos en el país, así como de las poblaciones de flora y fauna que dependen de estos sistemas ecológicos para resguardarse, alimentarse, transitar y reproducirse (San Vicente, 2014; Villavicencio, Saura, Santiago y Chávez, 2009; Coria, Villavicencio, Muñiz, y Treviño, 2015).

La región Huasteca en México es un ejemplo en la reducción forestal (Reyes-Hernández, Aguilar-Robledo, Aguirre-Rivera, y Trejo-Vázquez, 2006; Peralta-Rivero, Contreras-Servín, Galindo-Mendoza, Caussel, y Algara-Siller, 2014). En los últimos 40 años, las selvas y bosques de las zonas con poca inclinación y lomeríos fueron eliminados a causa de las actividades agropecuarias. En la actualidad los fragmentos arbóreos que aún quedan en la porción noreste de la Sierra Madre Oriental, se encuentran en áreas con pendientes pronunciadas o de difícil acceso para el ser humano.

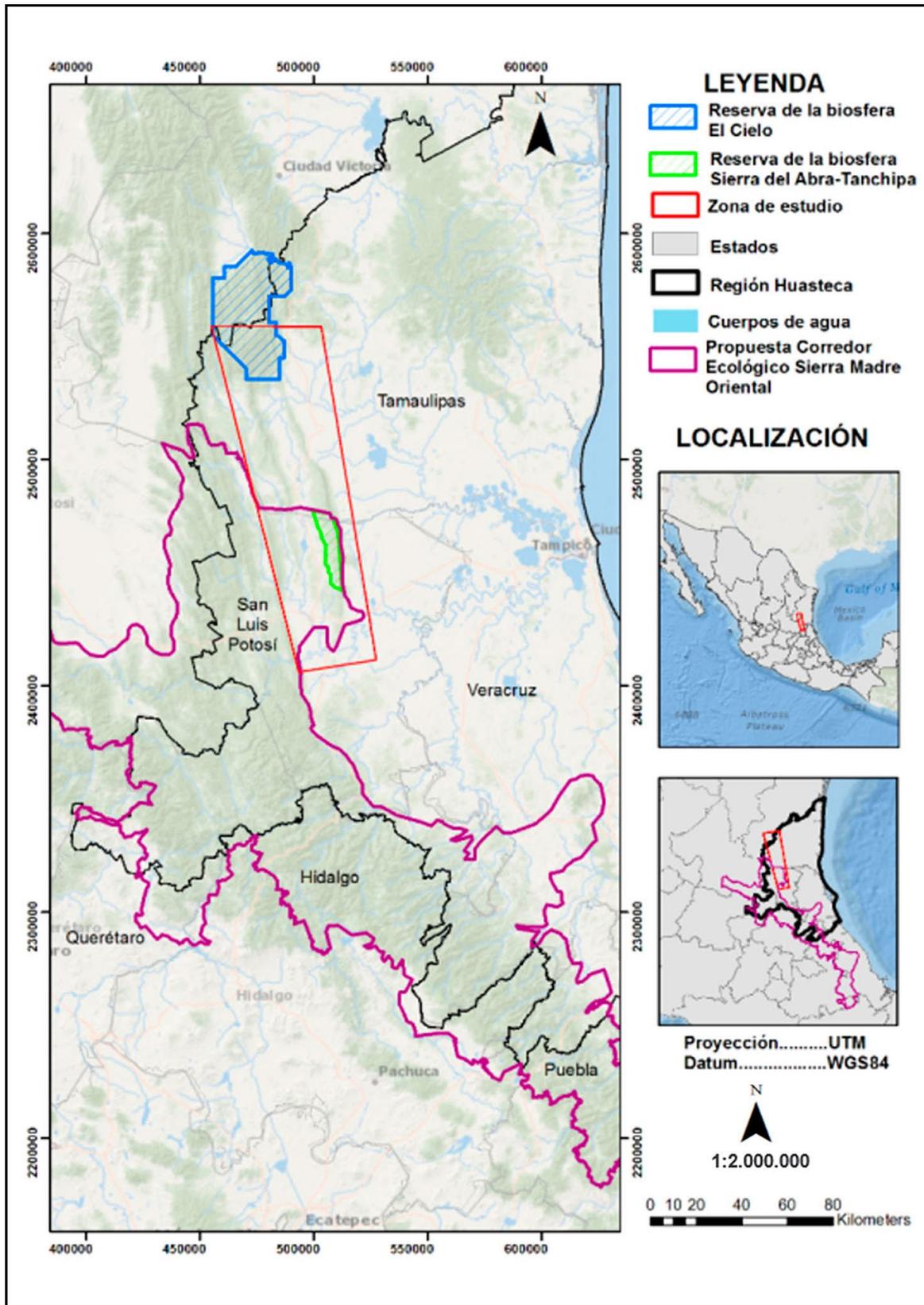
Estos procesos originados por las actividades humanas generaron un paisaje heterogéneo integrado por tres elementos principales: la matriz, los parches y los corredores (Vila, Varga, Llausàs, y Ribas, 2006; Botequilha, Miller, Ahern, y McGarigal 2006; Morera *et al.*, 2007). De estos, el elemento dominante del paisaje de la Sierra Madre Oriental es una matriz, compuesta por áreas deforestadas que generan resistencia en los hábitos de movilidad de algunas especies de fauna silvestre (Beier, Majka, y Spencer, 2008). Asimismo, existe vegetación secundaria, selvas bajas, medianas y bosques que forman parches (espacios nodales) y corredores de menor extensión que permiten el transitar de la fauna, así como favorecer a otros requerimientos biológicos de las especies (Ceballos, Chávez, Zarza, y Manterola, 2005; Shah y McRae, 2008).

Estos tres elementos (matriz, parches y corredores) diversos en tamaño, forma y distribución espacial, se encuentran en constante transformación por las actividades humanas, lo que genera efectos sobre las especies que habitan y se desplazan en los ecosistemas de la porción noreste de la Sierra Madre Oriental. Sin embargo, y pese a su importancia, se tiene un incipiente conocimiento sobre los requerimientos de la fauna silvestre para desplazarse entre los elementos heterogéneos del paisaje, así como de los obstáculos y riesgos a los que se exponen con la construcción de diversas infraestructuras.

Por lo tanto, el objetivo del presente artículo es proveer información que ayude a entender cómo afectan los cambios en la disposición y composición de las actividades humanas en el paisaje, principalmente en los procesos de movilidad de la *Panthera onca* (jaguar) que habita en las selvas y bosques de la porción noreste de la Sierra Madre Oriental.

Para ello se estimaron los cambios en la vegetación derivadas de actividades humanas y se evaluó la conectividad entre espacios nodales de dos reservas de la biosfera vecinas. La primera ubicada en el sur del estado de Tamaulipas (“El Cielo”) y la segunda “Sierra del Abra-Tanchipa” en el noreste de San Luis Potosí. La conectividad de los ecosistemas se analizó con información de los requerimientos de los individuos de una especie carnívora silvestre (*Panthera onca*) para desarrollar patrones de desplazamiento a través de los componentes bióticos y abióticos que otorgan mayor o menor resistencia en el área (Beier *et al.*, 2008; Garrido-Garduño y Vázquez-Domínguez, 2013).

Figura 1. Ubicación del área de estudio



Elaboración propia

La zona se localiza en una porción de la región Huasteca en los estados Tamaulipas y San Luis Potosí en México (Figura 1). El área cuenta con una superficie aproximada de 626.677,42 ha. En este espacio se localizan dos áreas naturales protegidas (ANP). Al norte se encuentra la reserva de la biosfera “El Cielo” (RBEC). Esta área tiene 144.530 ha decretadas por el ejecutivo estatal en el año de 1985. La reserva atraviesa el suroeste del estado de Tamaulipas, en los municipios de Gómez Farías, Jaumave, Ocampo y Llera. Setenta kilómetros al sur se halla la reserva de la biosfera «Sierra del Abra-Tanchipa» (RBSAT), decretada por el gobierno federal en 1994. El área tiene una superficie total de 21.464,44 ha ubicadas en los municipios de Ciudad Valles y Tamuín, en el estado de San Luis Potosí. Ambas áreas naturales protegidas se localizan en la porción noreste de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental.

Su basamento lítico consta de un conjunto de estratos plegados de rocas sedimentarias marinas del cretácico inferior y jurásico superior, en las que predominan las calizas, lutitas y areniscas. Las topofor-mas constan de sierras plegadas, declives, lomeríos y valles. El plegamiento de estos estratos favorece que las altitudes en la zona de estudio varíen desde los 5 hasta 2.300 msnm.

La combinación de diversas características del área (altitud, latitud, particularidades orográficas, cercanía con respecto al mar, etc.) propician la existencia de diversos climas. En las zonas bajas el clima dominante es cálido subhúmedo, con estación seca de cinco a seis meses. Estas condiciones climáticas, edáficas y orográficas favorecen el desarrollo de selvas bajas caducifolias y subcaducifolias. En altitudes superiores a los 800 msnm prevalece un clima semicálido húmedo y templado subhúmedo, con tres o cuatro meses de pocas precipitaciones. En estas zonas de altitud intermedia, se desarrollan los bosques mesófilos de montaña, selvas medias subperennifolias y bosques de encino (*Quercus germana*, *Q. xalapensis*, entre otras). Después de los 1.700 m se localizan los bosques de pino (*Pinus pseudostrabus* y *Pinus patula*).

2. Metodología

2.1. Mapas de cubierta vegetal y uso del suelo

Para la presente investigación se realizó una caracterización de la cubierta vegetal y uso del suelo para tres fechas distintas (1993, 2000 y 2014). Como primer paso, se elaboraron árboles de clasificación (AC). Para ello, se verificaron 430 puntos en campo, los cuales se registraron en un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Posteriormente, con las observaciones de cada clase (Tabla 1), se generó un mapa de puntos, el cual sirvió para extraer la información de las diversas capas (tipo de suelo, geología, altitud, pendiente, orientación de ladera y valores de las bandas 1/2/3/4/5/6/7 de imagen Landsat 1993, 2000 y 2014).

Tabla 1. Matriz de error de la clasificación 2014 de CVUS

Clases	Ca	Sd	Agr	Pi	Vsh	Vsa	Vp	Total clasificación
Ca	20	0	0	0	0	0	0	20
Sd	0	43	3	4	0	0	0	50
Agr	0	2	62	1	5	0	0	70
Pi	0	1	4	74	1	0	0	80
Vhs	0	0	5	0	43	2	0	50
Vsa	0	0	0	0	2	92	6	100
Vp	0	0	0	0	0	5	55	60
Total referencia	20	46	74	79	51	99	61	430
Total de aciertos	387							
Precisión de clasificación	90%							

CA= Cuerpos de agua; SD= Suelo desnudo; AGR= Agricultura de temporal y riego; PI= Pastizal inducido; VHS= vegetación secundaria herbácea y arbustiva; VSA= Vegetación secundaria arbórea; VP= Vegetación primaria)

Elaboración propia

Las capas cartográficas de tipo de suelo y geología se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) escala 1:250.000. La altitud, pendiente y orientación de ladera fueron derivadas del modelo digital de elevación escala 1:50.000, las curvas de nivel tenían una equidistancia de diez metros.

Por su parte, los valores de las firmas espectrales fueron extraídos de imágenes Landsat de los años 1993, 2000 y 2014.

Como resultadose obtuvo una base de datos, la cual fue manejada en el paquete de análisis estadístico (Salford Predictive Modeler 8.0, versión de prueba). Con ellos se construyó el árbol de clasificación. Los AC resultantes fueron utilizados para generar los mapas de la cubierta vegetal y uso del suelo (CVUS) en el Sistema de Información Geográfica (ENVI 5.3).

Después de obtener los mapas de vegetación y uso de suelo, se elaboró la cartografía que ayudó a identificar los espacios que brindan mayor conectividad o resistencia a la movilidad de una especie en particular.

2.2. Modelo de resistencias y conectividad

Para la elaboración de este tipo de cartografía se tiene que tener en cuenta que el transitar de una especie puede presentar un mayor o menor desplazamiento dependiendo del tipo de elementos que brindan heterogeneidad al paisaje, por lo tanto, para identificar aquellos espacios, que facilitan la movilidad de vida silvestre entre las dos áreas naturales protegidas, fue necesario seleccionar aquellas especies de fauna que presentan mayor información documentada sobre su movilidad, hábitos alimenticios y reproductivos (Beier *et al.*, 2008).

El área de estudio presenta 14 especies de aves de tamaño mediano y aproximadamente 29 especies de mamíferos medianos y grandes (Villordo-Galván *et al.*, 2010) entre ellos, cinco taxones de felinos: puma (*Puma concolor*), ocelote (*Leopardus pardalis*), margay (*Leopardus wiedii*), jaguarondi (*Puma yagouaroundi*), y el jaguar (*Panthera onca*) (Hernández-Saintmartín *et al.*, 2015). Sin embargo, se cuenta con muy poca información sobre el comportamiento y movilidad de la mayoría de estas especies.

En este trabajo se seleccionó al jaguar (*Panthera onca*) ya que es la especie que cuenta con mayor información disponible para la región (Villordo-Galván *et al.*, 2010; Ramírez-Bravo y López-González, 2007; Leyequián y Balvanera, 2007; Ávila-Nájera, Rosas-Rosas, Tarango-Arámbula, Martínez-Montoya, y Santoyo-Brito, 2011; Rodríguez-Soto *et al.*, 2011; Hernández-Saintmartín *et al.*, 2013; Hernández-Saintmartín *et al.*, 2015; Dueñas-López *et al.*, 2015). Además, suele ser un indicador sobre el estado de los hábitats.

El jaguar, es una especie que requiere grandes espacios con cobertura vegetal densa y gran cantidad de presas. En la región, el felino habita en áreas cubiertas por selvas bajas y medianas, bosque mesófilo de montaña y bosques de encino (principalmente representados por *Quercus affini*, *Quercus canbyi* y *Quercus crassifolia*) y zonas de vegetación con procesos de sucesión secundaria, por lo tanto, puede ser una especie paraguas para otras nativas, así como para ecosistemas y procesos ecológicos que ocurren ahí (Beier *et al.*, 2008; Ceballos *et al.*, 2005; Villordo-Galván *et al.*, 2010; Rodríguez-Soto *et al.*, 2011; Dueñas-López *et al.*, 2015).

Con la información de investigaciones previas se identificaron los espacios con presencia de jaguar en la zona de estudio (Rodríguez-Soto *et al.*, 2011; Dueñas-López *et al.*, 2015; Villordo-Galván *et al.*, 2010). Se usaron los parámetros de superficies mínimas (4-5,4 jaguares/ en selvas bajas) para determinar áreas potenciales que brindan hábitat óptimo para la especie (Núñez-Pérez, 2011; Hernández-Saintmartín *et al.*, 2015; Dueñas-López *et al.*, 2015). Esta información ayudó a generar cartografía de las zonas con mayor o menor resistencia para la movilidad del jaguar.

Mediante imágenes ráster se hizo una superposición ponderada para cada año analizado. En el proceso de la ponderación se utilizaron las capas de uso de suelo y vegetación (VyU), presencia de cuerpos de agua (PCA), tamaño de los parches de vegetación primaria y secundaria (TP), pendiente (P) y altitud (A). A cada capa de información, se le asignó un peso porcentual específico con respecto al total (VyU= 50%; TP 20%; PCA=20%; P 5% y A 5%).

Lo anterior se realizó siguiendo los resultados de investigaciones previas (Ceballos *et al.*, 2005; Hernández-Saintmartín *et al.*, 2015; Hernández-Saintmartín *et al.*, 2013; Ávila-Nájera *et al.*, 2011; Villordo-Galván *et al.*, 2010; Dueñas-López *et al.*, 2015). Con álgebra de mapas se multiplicaron los valores de celda para cada ráster de entrada por el peso de importancia otorgado a las imágenes y sumaron los valores de celda resultantes para producir un mapa para cada año, donde se observan los espacios con menor o mayor resistencia. Es decir: $\sum(S_n * W_n)$ donde S_n cada es la puntuación para variable n y W_n es el peso para esa variable (Tabla 2).

Tabla 2. Variables utilizadas para la elaboración del modelo

Variable	Peso	Fuente
Vegetación y uso del suelo		
Suelo desnudo	9	
Pastizal	8	Núñez-Pérez, 2011
Agricultura	7	Dueñas-López <i>et al.</i> , 2015
Vegetación secundaria arbustiva	6	Ceballos <i>et al.</i> , 2005
Vegetación secundaria arbórea	4	
Vegetación primaria	1	
Tamaño de los parches de selvas (ha)		
< 100	9	Núñez-Pérez, 2011
101-900	5	Ceballos <i>et al.</i> , 2005
>10.000	1	Valenzuela-Galván, Arita y Macdonald, 2008
Pendiente (%)		
0-5,5	2	
5,5-15,4	3	
15,4-25,9	4	Dueñas-López <i>et al.</i> , 2015
25,9-46,9	7	
>37,7	9	
Altitud (m)		
5-150	2	Briones-Salas, Lavariega y Lira-Torres, 2012
151-2.000	1	Dueñas-López <i>et al.</i> , 2015
2.001-2.500	7	Villordo-Galván <i>et al.</i> , 2010 Rodríguez-Soto <i>et al.</i> , 2011
Distancia a cuerpos de agua (km)		
0-0,6	1	
0,6-2,6	2	Beier <i>et al.</i> , 2007
2,6-4,7	4	Hernández-Saintmartín <i>et al.</i> , 2015
4,7-6,8	6	
6,8-10	9	

Elaboración propia

Debe resaltarse que a las variables de entrada, fueron obtenidas de los resultados obtenidos en otras investigaciones sobre los hábitos y distribución del jaguar. Estos productos fueron analizados para otorgar valores que van del uno al nueve, a donde las variables que presentan mayores resistencias para la movilidad del jaguar se les otorgó un número mayor y a aquellas que presentaban menores resistencias se les confirió un número menor. Con base en ello se obtuvieron mapas que ubican las áreas con resistencia, así como los espacios que tienen mayor conectividad potencial para la especie. Posteriormente, con base en la cartografía obtenida, se generó un mapa de cambios de conectividad y resistencias durante el periodo de análisis (1993-2014).

Para conocer la respuesta de los individuos a las condiciones del área para desarrollar patrones de movilidad, se elaboró cartografía de rutas potenciales de movilidad del jaguar (Beier *et al.*, 2008; Garrido-Garduño y Vázquez-Domínguez, 2013). Para ello se utilizó el software CONEFOR (Saura y Torné, 2009; Saura y Rubio, 2010; Saura y Torné, 2012). En él se introdujo una base con los polígonos de las zonas de interés, para calcular las distancias entre ellas desde su punto centroide.

La información resultante de las resistencias, conectividad y distancias fueron analizadas en el software Circuitscape, versión libre (McRae, Dickson, Keitt & Shah, 2008) el cual aplica algoritmos basados en la teoría de circuitos para predecir los diferentes aspectos de costo-distancia, conectividad y probabilidad de movimiento de las especies. Básicamente, la información de entrada (resistencias, conductancia y distancias) se analizó para generar una serie de gráficos compuestos por un conjunto de redes, bordes y nodos, que determinan las áreas con mayor probabilidad de conductancia (movimiento del jaguar) entre ellos (Shah y McRae, 2008).

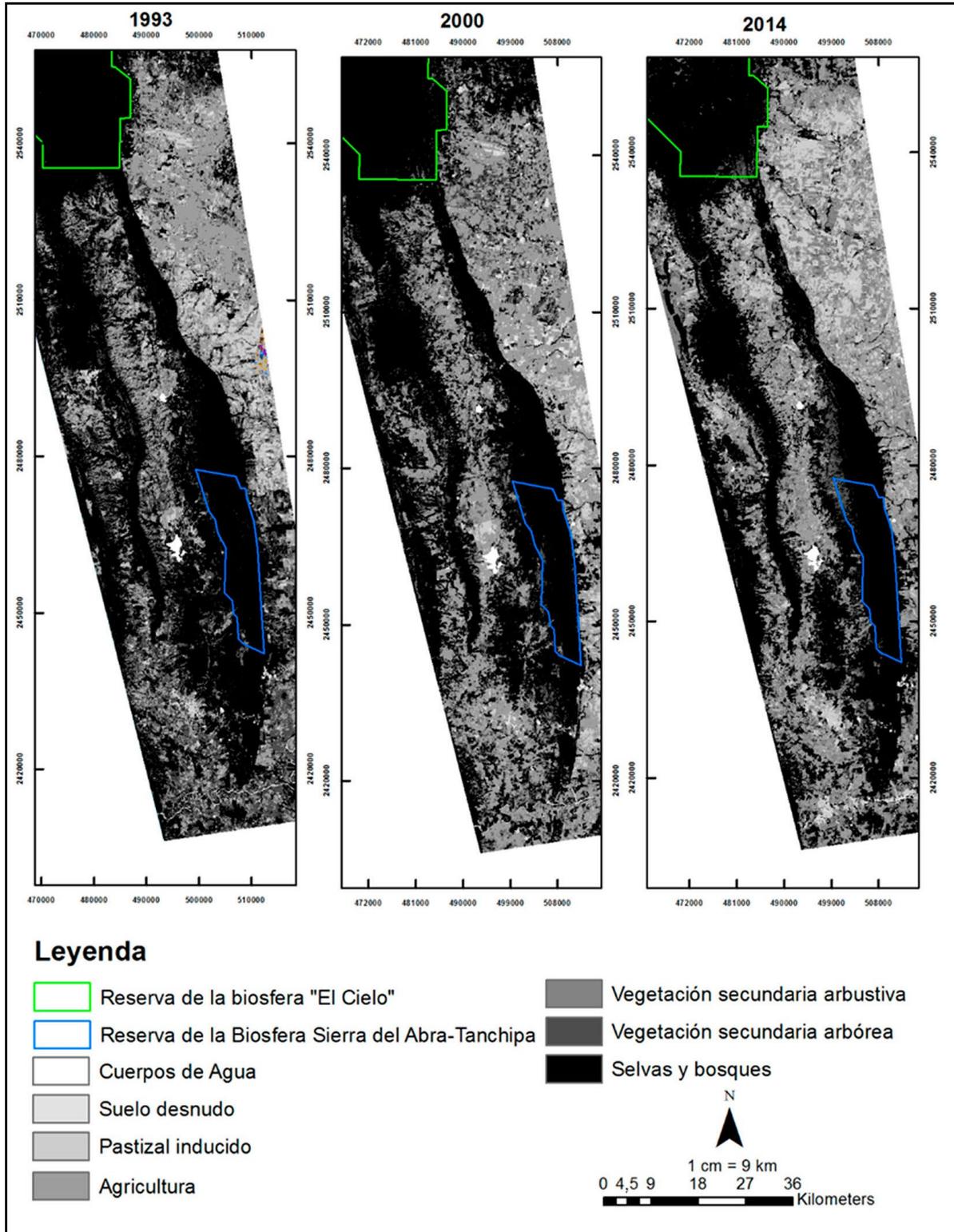
3. Resultados

3.1. Conectividad estructural

El análisis de la vegetación y uso del suelo para tres fechas distintas (Figura 2) indicó que el paisaje de la zona se encuentra dominado por espacios perturbados, resultado de las actividades humanas. Resalta

el incremento de las superficies agrícolas cubiertas por cultivos de caña (*Saccharum spp*) y cítricos (principalmente *Citrus sinensis*, *Citrus aurantifolia*), así como el aumento de los pastizales inducidos para cría de ganado vacuno.

Figura 2. Uso del suelo y vegetación para tres fechas distintas



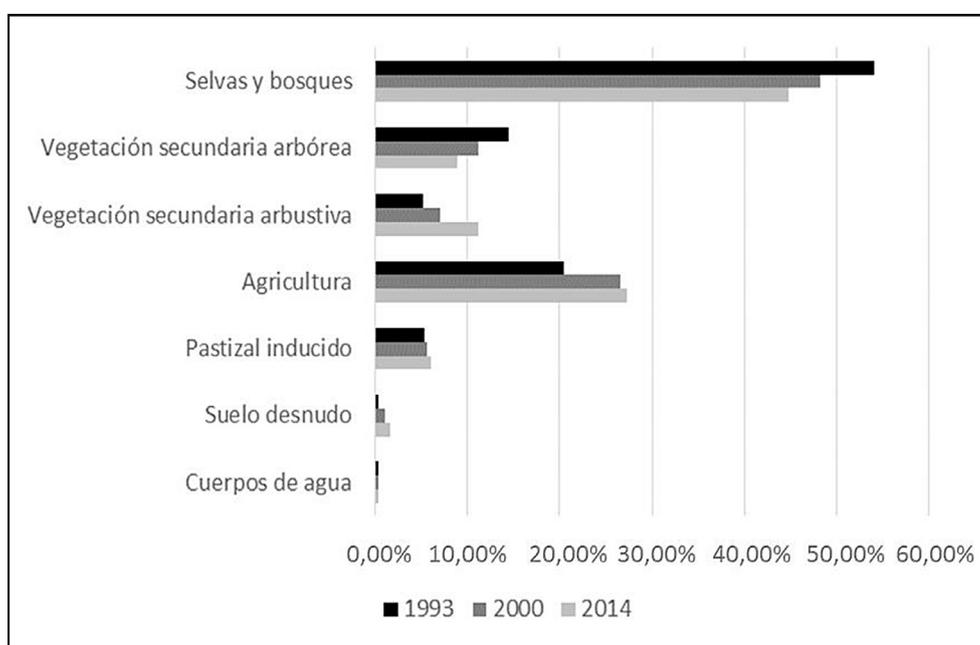
Elaboración propia

Estas actividades se distribuyen principalmente en áreas con poca pendiente y pequeños lomeríos que rodean las zonas serranas. Su presencia es más notable en gran parte del paisaje del este y sur de la región, y se extienden por toda el área central que divide la Sierra del Abra con la Sierra de Tamalave. Este patrón del paisaje continúa hacia el oeste, hasta llegar a las áreas montañosas de la SMO de San Luis Potosí y Tamaulipas (Figura 3).

Históricamente algunos de los espacios que tenían actividades humanas (principalmente agricultura y ganadería) fueron aparentemente abandonados o dejados en reposo, lo que propició procesos de sucesión vegetal secundaria. Para el 2014 existían 169.200 ha con un mosaico de comunidades vegetales del tipo secundario, el cual se encontraba distribuido en 87.734 ha de vegetación herbácea y arbustiva, además de otras 81.468 ha con fisonomía arbórea.

Por otro lado, resalta la actividad minera en el área de estudio. Esta acción se realiza a cielo abierto, para la extracción de materiales calcáreos, empleados por el sector de la construcción. Esta actividad pasó de 131 ha en 1993 a 400 ha en 2014, lo que representa un crecimiento del 77 % en veinte años. Si bien, la minería no tiene una superficie significativa, poco a poco el crecimiento de estas minas representa una gran barrera para la movilidad de las especies debido a su ubicación y extensión (10 a 30 ha en promedio).

Figura 3. Superficie de uso de suelo y vegetación para tres fechas analizadas



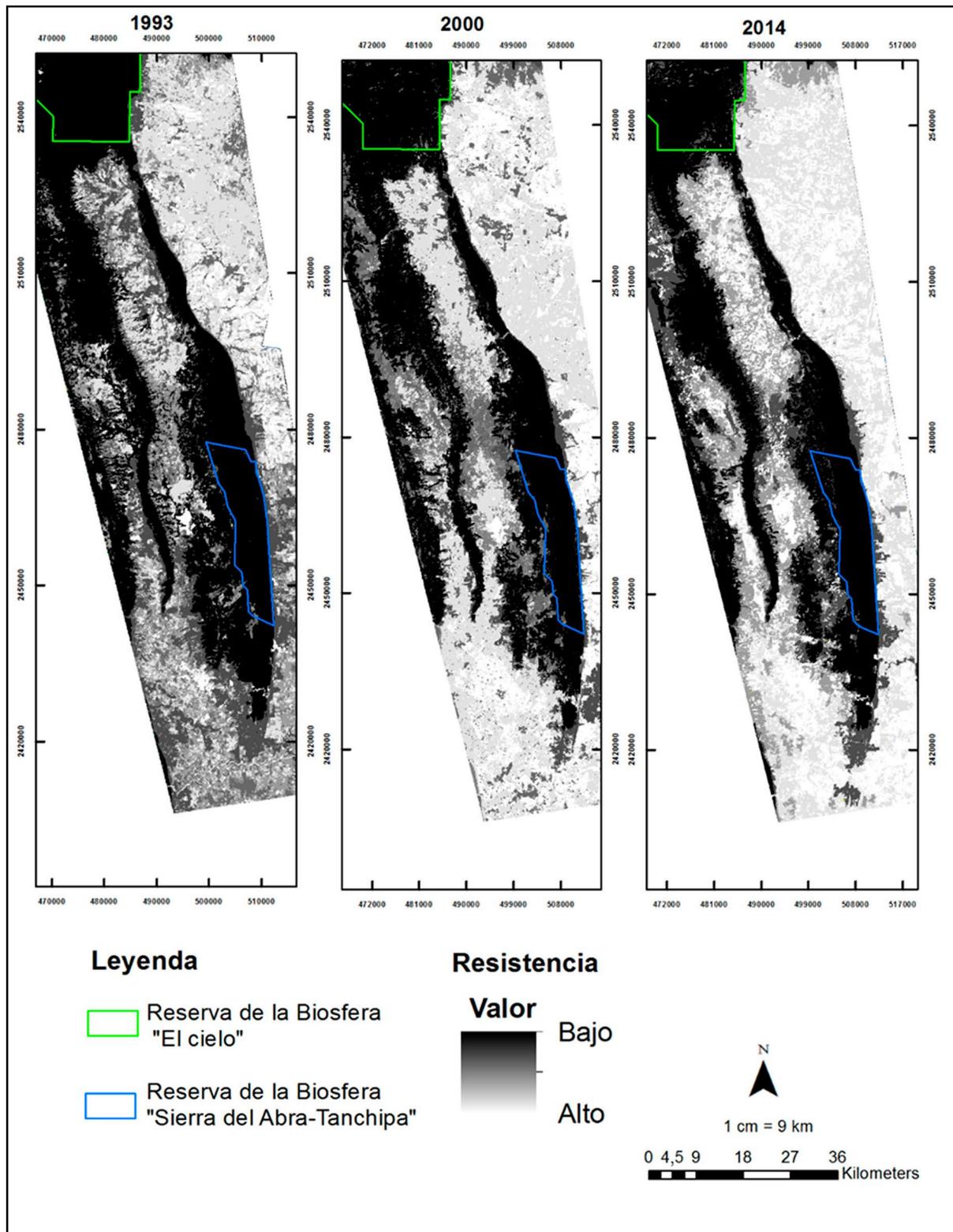
Elaboración propia

Además, las minas del sur de Tamaulipas, situadas en la parte central de la Sierra del Abra-Tanchipa (el área más estrecha de la Sierra) originan un incremento cada vez mayor en las distancias entre los hábitats (barreras norte-sur). Esto reduce la conectividad estructural entre ambas reservas de la biosfera.

Al sur de la reserva de la biosfera Sierra del Abra-Tanchipa, se localiza otra importante zona minera, con superficie mayor a la del norte. Un ejemplo es la mina de CEMEX, ubicada en el sur del municipio de Tamaulipas. Esta explotación alcanza una superficie aproximada de 70 ha y una profundidad superior a los 100 m. Su actividad afecta de manera directa a las selvas bajas cercanas a la reserva y es probable que tenga efectos futuros en la conectividad estructural y funcional de la porción sur.

Otro problema presente es el crecimiento de las zonas urbanas en el área, las cuales pasaron de 4.909 ha en 1993 a 9.728 ha para el 2014. Los principales núcleos urbanos son Ciudad Valles y Ciudad Mante. En ambos casos ya se observa un crecimiento en las zonas bajas de la sierra. En Ciudad Valles se realizó la remoción de áreas con vegetación primaria y secundaria para la construcción de desarrollos habitacionales. Cabe recalcar que existe un proyecto en puerta para la construcción de una autopista que conectará Tula, Ocampo y Ciudad Mante, que afectará a la conectividad entre la Sierra de Tamalave y la RBEC. Asimismo atravesará el corredor central entre las RBSAT y RBEC.

Figura 4. Niveles de conectividad para tres fechas distintas



Elaboración propia

En contraste con lo anterior, aún existen fragmentos de bosques, selvas y vegetación secundaria arbórea en un 47% de la superficie total del área. Es decir, 294.540 ha de estos ecosistemas todavía muestran

cierta continuidad estructural forestal. Es importante destacar que los ecosistemas arbóreos se encuentran confinados a áreas con mayor pendiente en altitudes superiores a los 150 m.

Principalmente se localizan sobre la topoforma de la Sierra del Abra-Tanchipa y se extienden hasta la RBEC en el municipio de Gómez Farías, Tamaulipas. Así mismo, prevalecen ecosistemas forestales en la Sierra de Tamalave. Esta sierra presenta continuidad estructural de selvas y bosques desde su parte sur hasta el norte, donde conectan estructuralmente con la reserva de la Biosfera El Cielo.

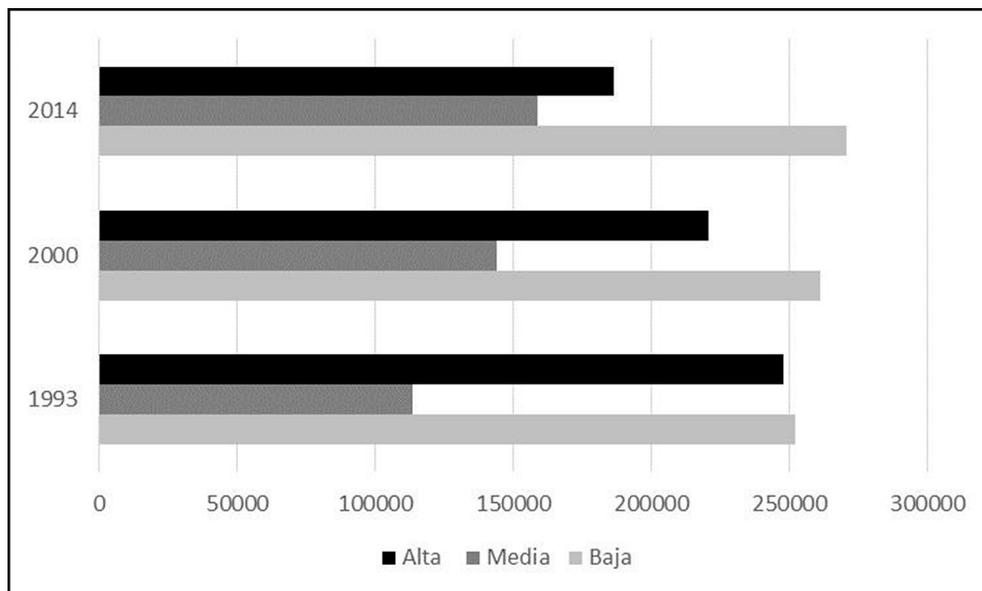
3.2. Conectividad del hábitat del jaguar

En el área de estudio existen comunidades vegetales arbóreas que brindan la posibilidad de satisfacer las necesidades biológicas de la población del jaguar. No obstante, se observan cambios en los niveles de conectividad estructural que podrían dificultar, cada vez más, la movilidad del felino entre los fragmentos con cobertura arbórea en la zona de estudio (Figura 4).

Son varios los elementos de origen humano que incrementan las barreras para la movilidad del jaguar. En primer lugar se encuentra el aumento y disposición estructural de las actividades agrícolas y ganaderas en el paisaje. Se extienden desde los valles y lomeríos hasta las zonas serranas de la región, impidiendo el crecimiento de ecosistemas arbóreos. Estos espacios, carecen de presas para los jaguares y otras variables de hábitat para sostener poblaciones saludables de la especie. Esto obliga a sus individuos a mantenerse y desplazarse en áreas primordialmente serranas, con vegetación primaria y secundaria.

En segundo lugar, destaca el incremento progresivo de las superficies mineras en zonas que son fundamentales para mantener la conectividad funcional entre las ANP. El incremento de las minas puede originar una pérdida total de la conectividad entre las poblaciones de jaguar que habitan en la RBEC y las del sur en la RBSAT (Figura 5).

Figura 5. Cambios en la conectividad para tres fechas distintas (superficie en hectáreas)



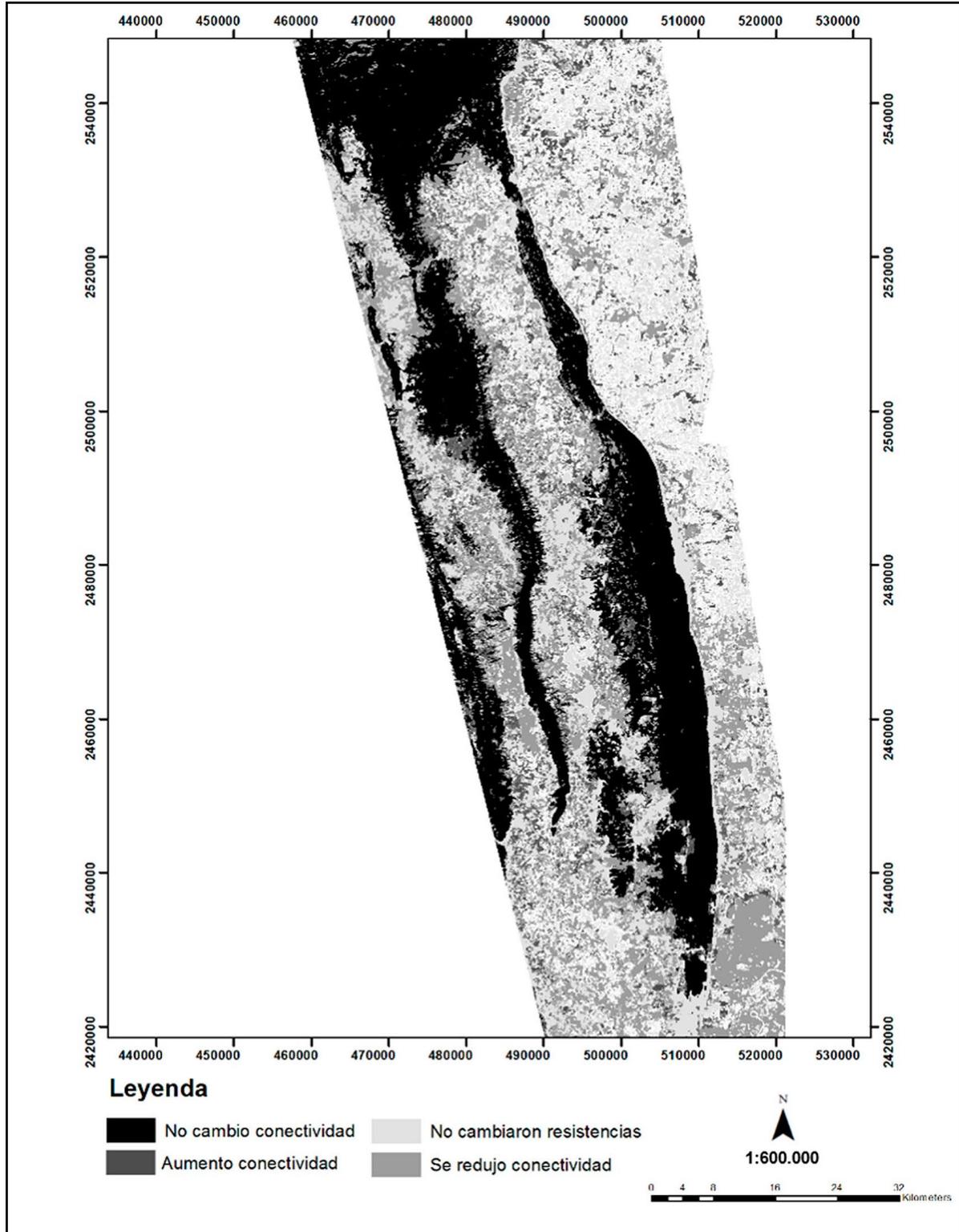
Elaboración propia

En tercer lugar está el crecimiento urbano y la construcción de diversa infraestructura, donde se sustituyen espacios de hábitat del jaguar para la edificación progresiva de áreas urbanas. Igualmente, resalta la construcción de autopistas que originan un incremento en el riesgo de atropellamientos del felino. En el año 2017 existía un proyecto en puerta para la construcción de una autopista con muro de contención central en el área de estudio.

De concretarse ese proyecto impedirá por completo el desplazamiento de individuos de la especie entre la Sierra del Abra-Tanchipa y Cerro Alto con la Reserva de la Biosfera El Cielo. Lo anterior, pone a discusión la funcionalidad de las medidas preventivas, correctoras y compensatorias que tradicionalmen-

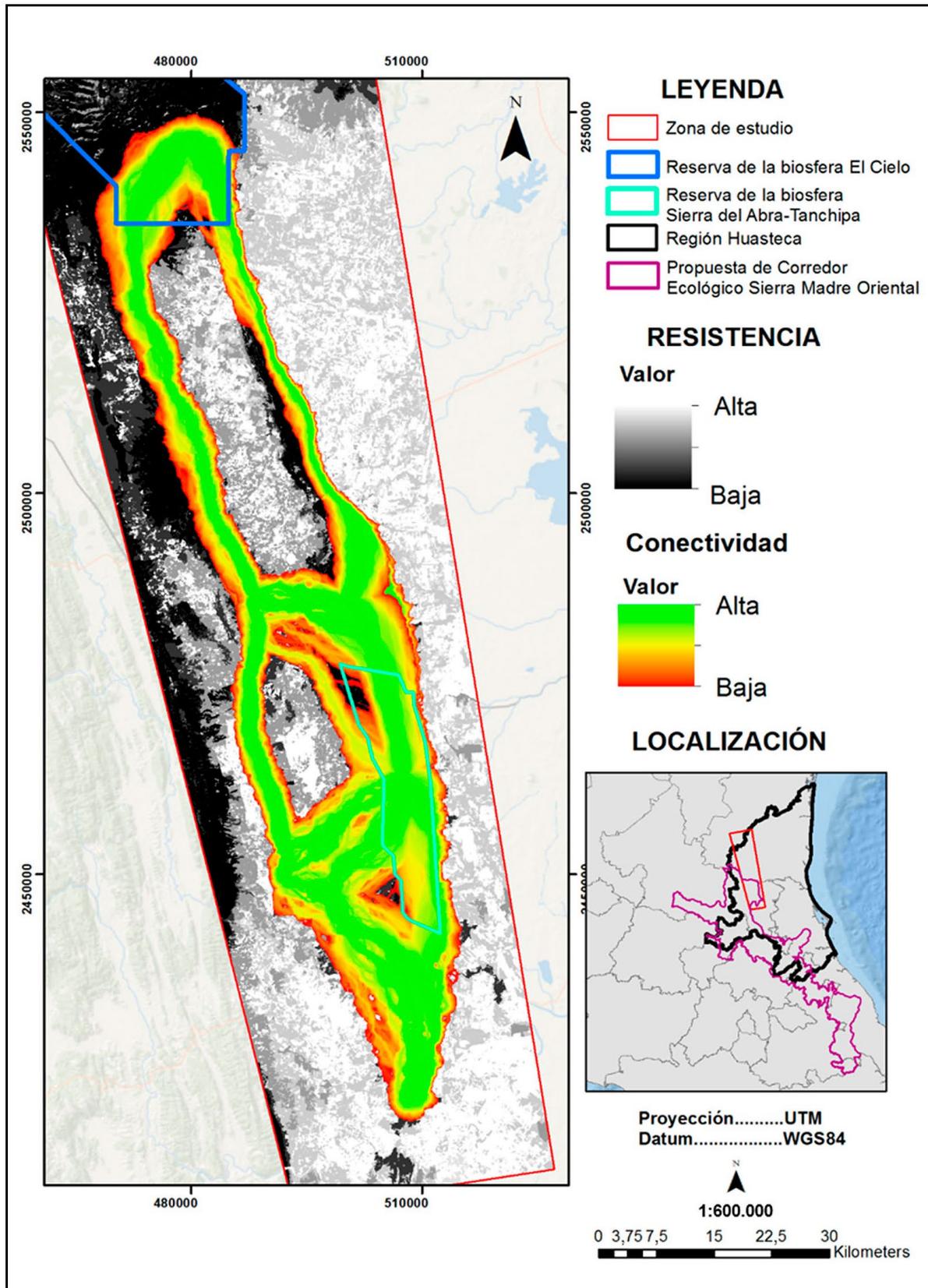
te se enuncian en las Manifestaciones de Impacto Ambiental en México. Igualmente debe evaluarse las deficiencias del marco legal ambiental vigente, con respecto a las afectaciones al hábitat y movilidad de especies silvestres que genera la construcción de infraestructura.

Figura. 6 Cambios en la conectividad para el periodo (1993-2014)



Elaboración propia

Figura 7. Corredores potenciales para el jaguar entre las reservas de la biosfera



Elaboración propia

El mapa de resistencias y conectividad potencial producto de este trabajo documenta la existencia de cerca de 296.500 ha de espacios con altos niveles de interconexión que aún pueden brindar un hábitat adecuado a poblaciones del jaguar, y que además tienen altas probabilidades de facilitar su movilidad entre las ANP (Figura 6).

Igualmente, los resultados obtenidos en el mapa de conectividad permiten inferir probables rutas con potencial para el desplazamiento de los individuos de la especie entre las áreas analizadas. Es destacable que la parte norte de la Sierra del Abra-Tanchipa se configuró como un área que sirve de corredor entre la RBEC y La RBSAT. Asimismo, se observó la existencia de zonas con alta conectividad funcional entre la reserva de la biosfera de El Cielo con la Sierra Tamalave (Figura 7).

4. Discusión

Para este trabajo se encontró que la reserva de la biosfera del Abra-Tanchipa presenta tres corredores principales para la movilidad potencial del jaguar. Fuera de estos espacios que facilitan su tránsito existen altas resistencias derivadas del crecimiento de las actividades humanas.

De cerrar estas "puertas" de entrada y salida para el jaguar y otras especies, es probable que la reserva de la biosfera se convierta en un fragmento arbóreo, donde los individuos de jaguar no puedan inmigrar, emigrar e interactuar con otros individuos de la especie fuera de la reserva. Esto no sólo podría limitar la reproducción del jaguar y reducir su población en el área, también el aislamiento podría ocasionar su extinción local, afectando a la complejidad y la productividad biológica de los hábitats, entre otros factores bióticos (MacArthur y Wilson, 1967; Levins, 1969; Hanski, 1999).

Como muestra, se observan los riesgos latentes con la construcción de infraestructura en la parte norte de los corredores, que pueden fragmentar y sustituir el hábitat y con ello coactar la movilidad del jaguar. Particularmente, resalta el proyecto de construcción de la autopista Tula-Ocampo-Ciudad Mante, la cual generará un incremento en el riesgo de atropellamientos del felino y significará una barrera importante para la movilidad del jaguar entre las áreas naturales protegidas. Si bien, dicho proyecto cuenta con una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), se evidencia que estos instrumentos así como la legislación mexicana carecen de leyes que atenúen, prevengan y mitiguen los impactos de este tipo de infraestructura con relación a la fragmentación de los hábitats y la pérdida de conectividad en los ecosistemas.

Con los resultados obtenidos en la presente investigación, se cuestiona el modelo tradicional de "reservas-isla", ya que gran parte de las delimitaciones de las ANPs en México y otras partes del mundo obedecen a intereses económicos y políticos, restando importancia a la funcionalidad de los ecosistemas u otras variables biológicas. Lo anterior es muy visible en los límites establecidos en los decretos de la RBEC y la RBSAT, donde las fronteras y superficies de las ANP fueron establecidas siguiendo límites administrativos, principalmente estatales y municipales, así como intereses mineros, agrícolas y ganaderos.

Esto tiene concordancia con lo postulado por Hernández-SaintMartín, *et al.* (2015), los cuales mencionan que por sí sola, la superficie que abarca la reserva de la biosfera Sierra del Abra-Tanchipa, no puede mantener una funcionalidad óptima como hábitat del jaguar. Vale la pena obviar que la flora y fauna no conocen las fronteras establecidas para las reservas y mucho menos los acuerdos y convenios entre gobiernos y particulares. Sus necesidades biológicas obligan a un gran número de especies a moverse en las superficies arbóreas dentro y fuera de las reservas.

Lo anteriores de relevancia cuando se analizan los hábitos de desplazamiento del jaguar, pues la especie depende de grandes superficies para satisfacer sus requerimientos biológicos. Esto es evidente en los resultados de la presente investigación y en el trabajo de Dueñas-López, *et al.*, (2015) donde se observa que los individuos se desplazan en espacios forestales con y sin decreto de protección en la región.

Es fundamental mantener los corredores arbóreos que permiten la interconexión y la movilidad del jaguar y otras especies entre las ANP analizadas. Por lo tanto, es necesario fomentar la creación de nuevas políticas públicas enfocadas al fortalecimiento de la gestión integral del territorio, así como un marco legal que favorezcan la conservación y conectividad entre los ecosistemas hábitat del jaguar y otras especies de fauna.

Si bien la presente investigación es regional y enfocada a una sola especie, esto no debe ser limitativo para ser aplicado en otras partes del planeta, puesto que la fragmentación de los ecosistemas y la pérdida de la conectividad biológica es una constante en diferentes partes del planeta (Haddad *et al.*, 2015) con

procesos de deterioro del hábitat, reducción de la movilidad de la especie y extinciones locales (Van der Ree, Jaeger, Van der Grift, y Clevenger, 2011) que ponen en riesgo la biodiversidad existente (Fagan, 2002). Por ello, es esencial posicionar en la agenda pública las estrategias de conservación y gestión integral del territorio, donde se visibilice la importancia de los ecosistemas y se priorice su implementación.

En la región de estudio, poco a poco se materializa la propuesta para instaurar un “Corredor Ecológico en la Sierra Madre Oriental” (CESMO). Sin embargo la parte norte de la Sierra del Abra-Tanchipa, Sierra Talamave y la Reserva de la Biosfera El Cielo se encuentran fuera de dicha propuesta, esto pese a la alta conectividad ecosistémica que presentan estas dos áreas naturales protegidas. Además de su importancia como espacios nodales que interconectan los ecosistemas de la SMO en su porción noreste.

Esto abre la puerta para discutir la manera en que se delimitó el corredor ecológico de la Sierra Madre Oriental, cuyos límites fueron definidos siguiendo intereses políticos y económicos sobre aspectos paisajísticos y de funcionalidad ecológica. Es decir, aún en nuestros días persiste una visión antropocéntrica sobre lo qué se debe proteger y por qué se debe proteger.

Para cumplir con la conservación efectiva de la biodiversidad del país, se propone que el concepto de “corredor biológico o ecológico” se contemple en Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, ya que hasta la fecha dicho concepto es inexistente en la legislación mexicana. Además, se plantea que las propuestas de corredor biológico sean diseñadas bajo esquemas que prioricen los procesos biológicos.

5. Conclusiones

Existen grandes áreas forestales que presentan alta conectividad entre la reserva de la biosfera El Cielo en Tamaulipas y la reserva de la biosfera Sierra del Abra-Tanchipa en San Luis Potosí. Igualmente, se localizaron diversas rutas con alto potencial para el desplazamiento del jaguar entre ANP y otros espacios sin decreto de protección como es la Sierra de Talamave.

Resalta que la Sierra del Abra-Tanchipa se encuentra altamente conectada en su parte norte con la reserva de la biosfera El Cielo y en el centro se encuentran dos corredores que conectan con la Sierra Talamave. Fuera de estos tres corredores se desarrollan actividades antrópicas que restringen la movilidad del jaguar y otras especies de fauna. Es decir, estos corredores son los espacios principales que permiten el transitar de la especie.

Uno de los grandes problemas que afecta a la conectividad de este corredor biológico es el avance de las actividades humanas. Los espacios destinados a las áreas urbanas, minería, agricultura y ganadería están avanzando considerablemente en detrimento del hábitat del jaguar. Por su parte, destaca la construcción de una autopista al norte de los corredores que puede convertirse en una verdadera barrera para el tránsito de las especies con movilidad terrestre entre las dos áreas naturales protegidas.

Igualmente, se cuestionaron las delimitaciones de las ANP estudiadas, ya que obedecieron a intereses económicos y políticos, restando importancia a la funcionalidad de los ecosistemas u otras variables biológicas. Por lo tanto, es fundamental, diseñar herramientas legales y políticas de gestión integral del territorio que permitan la conservación y apropiado manejo de los ecosistemas en el área de estudio.

Referencias

- Aguilar, C., Martínez, E., y Arriaga, L. (2000). Deforestación y fragmentación de ecosistemas: Qué tan grave es el problema en México. *Biodiversitas*, 30(1), 7-11. <http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/7076.pdf>
- Ávila-Nájera, D., Rosas-Rosas, O., Tarango-Arámbula, L., Martínez-Montoya, J. y Santoyo-Brito, E. (2011). Conocimiento, uso y valor cultural de seis presas del jaguar (*Panthera onca*) y su relación con éste, en San Nicolás de los Montes, San Luis Potosí, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 1020-1028. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3>
- Beier, P., Majka, D. & Spencer, W. (2008). Forks in the road: choices in procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology*, 22(4), 836-851. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2008.00942.x>

- Botequilha, A., Miller, J., Ahern, J. & McGarigal, K. (2006). *Measuring landscapes: A planner's handbook*. Island press. USA.
- Briones-Salas, M., Lavariega, M. y Lira-Torres, I. (2012). Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(1), 246-257. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532012000100027&lng=es&tlng=es.
- Cayuela, L. (2006). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Revista Ecosistemas*, 15(3).
- Ceballos, G., Chávez, C., Zarza, H. y Manterola, C. (2005). Ecología y conservación del jaguar en la región de Calakmul. *Biodiversitas*, (62), 1-7.
- Comisión Nacional Forestal. (2013). *El 82 por ciento de la deforestación en México es por cambio de uso del suelo*. Comisión Nacional Forestal. México. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4724E1%2082%20por%20ciento%20de%20la%20deforestaci%C3%B3n%20en%20M%C3%A9xico%20es%20por%20cambio%20de%20uso%20del%20suelo.pdf>
- Coria, R., Villavicencio R., Muñoz, M. y Treviño, E. (2015). Conectividad del hábitat forestal del ocelote (*Leopardus pardalis*) en la sierra de Quila y zonas adyacentes, Estado de Jalisco, México. *Selper*, (21). México. <http://www.selper.org.mx/images/Memorias2015/assets/et016.pdf>
- Dueñas-López, G., Rosas, O., Chapa-Vargas, L., Bender, L., Tarango-Arámbula, L., Martínez-Montoya, J. y Alcántara-Carbajal, L. (2015). Connectivity among jaguar populations in the Sierra Madre Oriental, México. *Therya*, 6(2), 449-468. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402339248013>
- Fagan, F. (2002). Connectivity, fragmentation, and extinction risk in dendritic metapopulations. *Ecology*, 83(12), 3243-3249. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[3243:CFAERI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[3243:CFAERI]2.0.CO;2)
- Garrido-Garduño, T. y Vázquez-Domínguez, E. (2013). Métodos de análisis genéticos, espaciales y de conectividad en genética del paisaje. *Revista mexicana de biodiversidad*, 84(3), 1031-1054.
- Haddad, M., Brudvig, A., Clobert, J., Davies, F., Gonzalez, A., Holt, & Cook, W. M. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Hanski, I. (1999). *Metapopulation Ecology*. USA: Oxford University Press
- Hernández-Saintmartín, A., Rosas-Rosas, O., Palacio-Núñez, J., Tarango-Arámbula, A., Clemente-Sánchez, F. & Hoogesteijn, A. (2013). Activity patterns of jaguar, puma and their potential prey in San Luis Potosí, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 29(3).
- Hernández-SaintMartín, A., Rosas-Rosas, O., Palacio-Núñez, J., Tarango-Arambula, L., Clemente-Sánchez, F. and Hoogesteijn, A. (2015). Food Habits of Jaguar and Puma in a Protected Area and Adjacent Fragmented Landscape of Northeastern Mexico. *Natural Areas Journal*, 35(2), 308-317. <https://doi.org/10.3375/043.035.0213>
- Levins, R. (1969). Some genetic and demographic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, (15), 237-240. <https://doi.org/10.1093/besa/15.3.237>
- Leyequién, L. y Balvanera, M. (2007). El jaguar en el este de la Huasteca potosina. En G. Ceballos, C. Chávez, R. List y H. Zarza (eds.). *Conservación y manejo del jaguar en México Estudio de caso y perspectivas* (pp. 51-58). CONABIO/WWF/Telcel/UNAM, México, DF.
- MacArthur, R. & Wilson, E. (1967). *Theory of Island Biogeography*. USA: Princeton University Press..
- Matías, L. (2012). Cambios en los límites de distribución de especies arbóreas como consecuencia de las variaciones climáticas. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 91-96. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.12>
- McRae, H., Dickson, G., Keitt, H. & Shah, B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724. <https://doi.org/10.1890/07-1861.1>
- Morera, C., Pintó J. y Romero, M. (2007). Paisaje, procesos de fragmentación y redes ecológicas: aproximación conceptual. En O. Chassot y C. Morera (eds.) *Corredores Biológicos: Acercamiento conceptual y experiencia en América* (pp. 11-32). Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Núñez-Pérez, R. (2011). Estimating jaguar population density using camera-traps: a comparison with radio-telemetry estimates. *Journal of Zoology*, 285(1), 39-45.

- Peralta-Rivero, C., Contreras-Servín, C., Galindo-Mendoza, M., Causse, M. & Algara-Siller, M. (2014). Analysis of land use and land cover changes and evaluation of natural generation and potential restoration areas in the Mexican Huasteca region. *Open Journal of Forestry*, 4(2), 124. <https://doi.org/10.4236/ojf.2014.42018>
- Ramírez-Bravo, E. y López-González, C. (2007). Determinación de áreas críticas para la supervivencia del jaguar en la Sierra Madre Oriental. En G. Ceballos, C. Chávez, R. List y H. Zarza (eds.), *Conservación y Manejo del Jaguar en México: estudios de caso y perspectivas* (pp. 41-50). México: Conabio-Alianza WWF/Telcel-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reyes-Hernández, H., Aguilar-Robledo, M., Aguirre-Rivera, R. y Trejo-Vázquez, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones geográficas*, (59), 26-42.
- Rodríguez-Soto, C., Monroy-Vilchis, O., Maiorano, L., Boitani, L., Faller, C., Briones, A. & Falcucci, A. (2011). Predicting potential distribution of the jaguar (*Panthera onca*) in Mexico: identification of priority areas for conservation. *Diversity and Distributions*, 17(2), 350-361. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00740.x>
- Ruiz, M., García, C y Sayer J.A. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Revista Ecosistemas*, (16), 81-90.
- San Vicente, M. (2014). Categorización de corredores ecológicos en función de su contribución a la conectividad de la red Natura 2000. Implicaciones para la ordenación del territorio. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (14), 68-84.
- Saura, S. & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523-537. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05760.x>
- Saura, S. & Torné, J. (2009). Conefor Sensinode 2.2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental modelling & software*, 24(1), 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.05.005>
- Saura, S. & Torné, C. (2012). *2.6 user manual—Quantifying the importance of habitat patches and links for maintaining or enhancing landscape connectivity through spatial graphs and habitat availability (reachability) metrics*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. http://www.conefor.org/files/usuarios/Manual_Conefor_26.pdf
- Shah, B. & McRae, B. (2008). Circuitscape: a tool for landscape ecology. In *Proceedings of the 7th Python in Science Conference*, (7), 62-66.
- Van der Ree, R., Jaeger, J. A., Van der Grift, E. A. & Clevenger, A. P. (2011). Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. *Ecology and society*, 16(1). <https://doi.org/10.5751/ES-03982-160148>
- Valenzuela-Galván, D., Arita, T., & Macdonald, W. (2008). Conservation priorities for carnivores considering protected natural areas and human population density. *Biodiversity and Conservation*, 17(3), 539-558. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9269-0>
- Vila, J., Varga, D., Llausàs, A. y Ribas, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, (48), 151-166.
- Villavicencio, R., Saura, S., Santiago, A. y Chávez, A. (2009). La conectividad forestal de las áreas protegidas del estado de Jalisco con otros ambientes naturales. *Scientia-CUCBA*, (11), 43-50.
- Villordo-Galván, J., Rosas-Rosas, O., Clemente-Sánchez, F., Martínez-Montoya, J., Tarango-Arámbula, L. & Mendoza-Martínez. (2010). The jaguar (*Panthera onca*) in San Luis Potosí, México. *The Southwestern Naturalist*, (55), 394-402. <https://doi.org/10.1894/CLG-30.1>
- Woodward, F. (1987). *Climate and plant distribution*. USA: Cambridge University Press.