



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Instituto de Arquitectura Diseño y Arte

**ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITAT CON BASE
EN LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL ÁGUILA REAL
(*Aquila chrysaetos*) EN CHIHUAHUA, MÉXICO.**

Proyecto de titulación que presenta:

Gabriela Pérez Galdeán

Como requisito parcial para obtener el grado de

Licenciado en Geoinformática

Cd. Cuauhtémoc, Chih.

Mayo 2014

Este proyecto de titulación fue aceptado por el comité revisor designado por la academia del programa en Geoinformática de la Universidad Autónoma de Cd. Juárez, como requisito parcial para optar al grado Licenciado en Geoinformática.



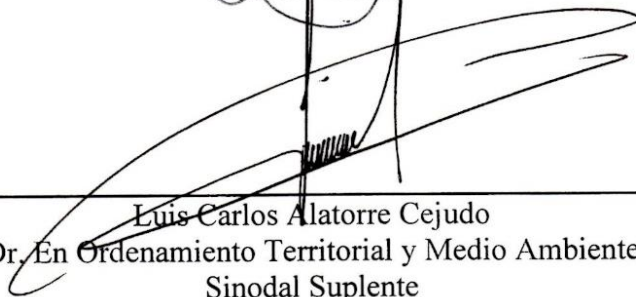
María Elena Torres Olave
Dra. En Ciencia y Tecnología Ambiental
Director de Proyecto de Titulación



Luis Carlos Bravo Peña
Dr. En Ciencias Opción en Desarrollo Regional
Sinodal Titular



Hugo Luis Rojas Villalobos
Mtro. En Ingeniería Ambiental y Ecosistemas
Sinodal Titular



Luis Carlos Alatorre Cejudo
Dr. En Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
Sinodal Suplente

Mayo 2014

DEDICATORIA

Con mucha admiración, cariño y respeto a mis padres Raúl Pérez y Luz Elva Galdeán por su interminable apoyo en todo momento de mi vida; por sus enseñanzas, consejos y paciencia ante mis constantes errores. Gracias a ustedes he llegado a esta meta y me he convertido en lo que soy.

A mi hermana Diana por el cariño sincero que en todo momento ha sido de apoyo y fortaleza.

A mi novio Tony Bencomo por su paciencia y comprensión, que prefirió sacrificar su tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por ese respaldo y esa protección que me inspiraron a ser mejor persona, ahora puedo decir que este proyecto lleva mucho de él. Gracias por estar siempre a mi lado y llenarme de alegría en todo este tiempo.

A mis amigos dentro y fuera de la universidad que son las personas que han estado más cerca de mí en estos años impidiendo que me sienta sola, apoyándome cuando era necesario y haciéndome pasar momentos inolvidables.

Al resto de mi familia que estuvo presente en cada etapa de mi vida, especialmente a mis abuelos, mis padrinos y mi tía Lucy que me han apoyado incondicionalmente.

A ellos y a todas las personas que en este andar de la vida influyeron con sus lecciones y experiencias para formarme como persona preparada para los retos que pone la vida, les dedico cada una de estas páginas.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en todo momento y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Agradezco a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a mi directora de tesis, María Elena Torres Olave por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua, pero sobre todo por la motivación, el apoyo y la confianza que invirtió en mí a lo largo de este tiempo.

A cada uno de mis profesores Luis C. Bravo P., Hugo L. Rojas V., Luis C. Alatorre C., Lara C. Wiebe Q. y Rolando E. Díaz C. por ser guías y apoyo durante estos cuatro años. Gracias por las enseñanzas, los consejos y el conocimiento que me transmitieron, pues gran parte de lo que soy ahora se lo debo a ustedes.

Al Maestro Francisco Antonio Villalobos Moreno por las oportunidades ofrecidas a lo largo de mis estudios en la UACJ.

A mis compañeros de trabajo, que a pesar de muchas dificultades y retos pudimos salir adelante. Gracias por depositar en mí su confianza y ofrecerme su amistad incondicional.

Análisis de fragmentación de hábitat con base en la distribución potencial del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en Chihuahua, México.

Pérez-Galdeán Gabriela*

Resumen. El estudio de la diversidad biológica ha revelado que las actividades humanas ejercen una marcada influencia en la disminución del número de especies y en la pérdida irreversible de hábitat. El objetivo del presente trabajo es analizar en conjunto las características climáticas y topográficas que influyen en la presencia del Águila Real para describir su nicho ecológico espacial y estructuralmente en el estado de Chihuahua. Para ello 1) se generó el modelo de distribución potencial basado en el algoritmo de MaxEnt, utilizando 22 envoltentes ambientales y 34 registros de ocurrencia, 2) se determinaron las variables que contribuyen mayormente en la generación del modelo y se describen los rangos con mayor probabilidad de presencia, 3) se realizó el análisis de

fragmentación de hábitat mediante ocho métricas en la cubierta vegetal donde predomina la especie. Se presenta un incremento en el área de distribución de la especie en 2,122.5 has; esto y los demás resultados sugieren que no existe una fragmentación; por el contrario puede existir un proceso de recuperación, en términos de estructura del paisaje. Sin embargo para afirmar lo anterior es necesario analizar los procesos biológicos y otros factores naturales o antropogénicos que pueden determinar la existencia del ave.

Palabras clave: *Fragmentación de hábitat, Modelo de nicho ecológico, MaxEnt, Águila Real.*

Fragmentation of habitat analysis based potential distribution: Case of Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Chihuahua, Mexico.

Abstract. The study of biodiversity has revealed that human activities exert a marked influence on the decrease in the number of species and the irreversible loss of habitat. The objective of this paper is analyze together the climatic and topographic features that influence the presence of the Golden Eagle to describe an ecological niche both spatial and structurally in the state of Chihuahua. For this 1) ecological niche model was generated using the MaxEnt algorithm with 22 environmental layers and 34 records of occurrence, 2) the variables that contribute mostly in the generation of the model was determined and ranges most likely to describe presence and, 3)

the analysis of fragmentation of habitat using eight metrics in vegetation cover where the predominant species was performed. Occurs an increase in the distribution area of the specie in 2122.5 has; this suggests that there is no fragmentation, however there may be a recovery process, in terms of landscape structure. But to say the above is necessary analyze the biological processes of the species and other natural or anthropogenic factors which can determine the presence of the bird.

Key words: *Fragmentation of habitat, ecological niche model, MaxEnt, Golden Eagle.*

*Alumno de la Licenciatura en Geoinformática, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Unidad Multidisciplinaria Cuauhtémoc, Carretera Cuauhtémoc-Anáhuac y Calle Ejercito Nacional 5220 Col. Ejido Cuauhtémoc. CP 31600 Anáhuac, municipio de Cuauhtémoc. E-mail: gabby.galdean@gmail.com.

INTRODUCCIÓN

México alberga una gran parte de la biodiversidad y como muchos otros países soporta una fuerte presión sobre el medio ambiente y los recursos naturales (Calixto, 2009). El estudio de la diversidad biológica ha revelado que las actividades humanas ejercen una marcada influencia en la disminución del número de especies, en el tamaño de las poblaciones silvestres y en la pérdida irreversible de hábitat y ecosistemas, llegando a niveles insostenibles (CONABIO, 1998). Esta crisis puede ser ocasionada por diversos factores, tales como: 1) Sobreexplotación de los recursos naturales, 2) Actividades económicas legales referidas a la pesca, agricultura y deforestación, o ilegales como el tráfico de ejemplares con estatus especial, 3) Efectos negativos de las interacciones con enemigos naturales introducidos por el hombre, 4) Influencia de compuestos químicos y tecnologías que aumentan la contaminación y/o 5) Catástrofes naturales (CONABIO, 1998). A consecuencia de ello, la flora y fauna existente en el país presenta un riesgo de extinción causada por cambios sociales, territoriales, económicos y ambientales.

Aunado a lo anterior en el último siglo, México ha sufrido una profunda transformación demográfica. En 1910 había poco más de 15 millones de habitantes, para el 2010 serían cerca de 108.4 millones de habitantes, es decir un crecimiento anual del 1% (Mendoza *et al*, 2010). El crecimiento poblacional provoca a su vez un incremento de las actividades económicas; y ambas han sido en gran medida causas de la fuerte presión ambiental en el país, donde cerca del 64% de la superficie total muestra diversos tipos de degradación (CONAFOR, 2012). Particularmente el estado de Chihuahua refleja una pérdida de la funcionalidad de sus ecosistemas pues el 80% del territorio estatal presenta algún grado de deterioro (Rodríguez, 2004). Así mismo en el estado existen especies claves que juegan un papel crítico en la

conservación y restauración del binomio especies-hábitat. Es por ello que estas y los ecosistemas que las albergan se consideran prioritarias para su atención. Por ejemplo, el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en Chihuahua representa un juego de valores culturales que la destacan y convierten en una especie particularmente carismática e importante, declarada como símbolo de conservación en México (SEMARNAT, 2008).

Descripción de la especie

El Águila Real o Águila Dorada es de color café oscuro con tonalidades doradas en la cabeza y hombros. En México se reportan las tallas para hembras de 200 a 230 cm de longitud (de punta a punta de sus alas) y un peso de 3800 a 6600 g; para machos de 182 a 212 cm de envergadura alar y un peso entre 3500 y 6000 g (CONANP, 2008). Esta especie se reproduce en zonas montañosas con espacios abiertos, la colocación de los nidos es en árboles o acandilados de difícil acceso entre 3 y 30 m de altura. En el país, la puesta de huevos se presenta en Enero o principios de Febrero y ocasionalmente en Marzo, la incubación dura de 43 a 45 días y antes de emprender su primer vuelo en Julio y Agosto, los pollos tardan de 72 a 84 días en el nido (CONANP, 2008). Su alimentación consiste fundamentalmente en liebres y conejos aunque come otro tipo de presas como, aves, reptiles e insectos, incluyendo carroña cuando los mamíferos son escasos (CONANP, 2008).

Distribución

Se distribuye principalmente en zonas áridas, semiáridas y montañosas con boques templados, habita en gran proporción en desiertos y pastizales (CONANP, 2008). Históricamente se extendía desde Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, San Luis Potosí y Tamaulipas, hacia el resto del norte de México, es decir aproximadamente el 50% del territorio nacional, actualmente solo abarca los

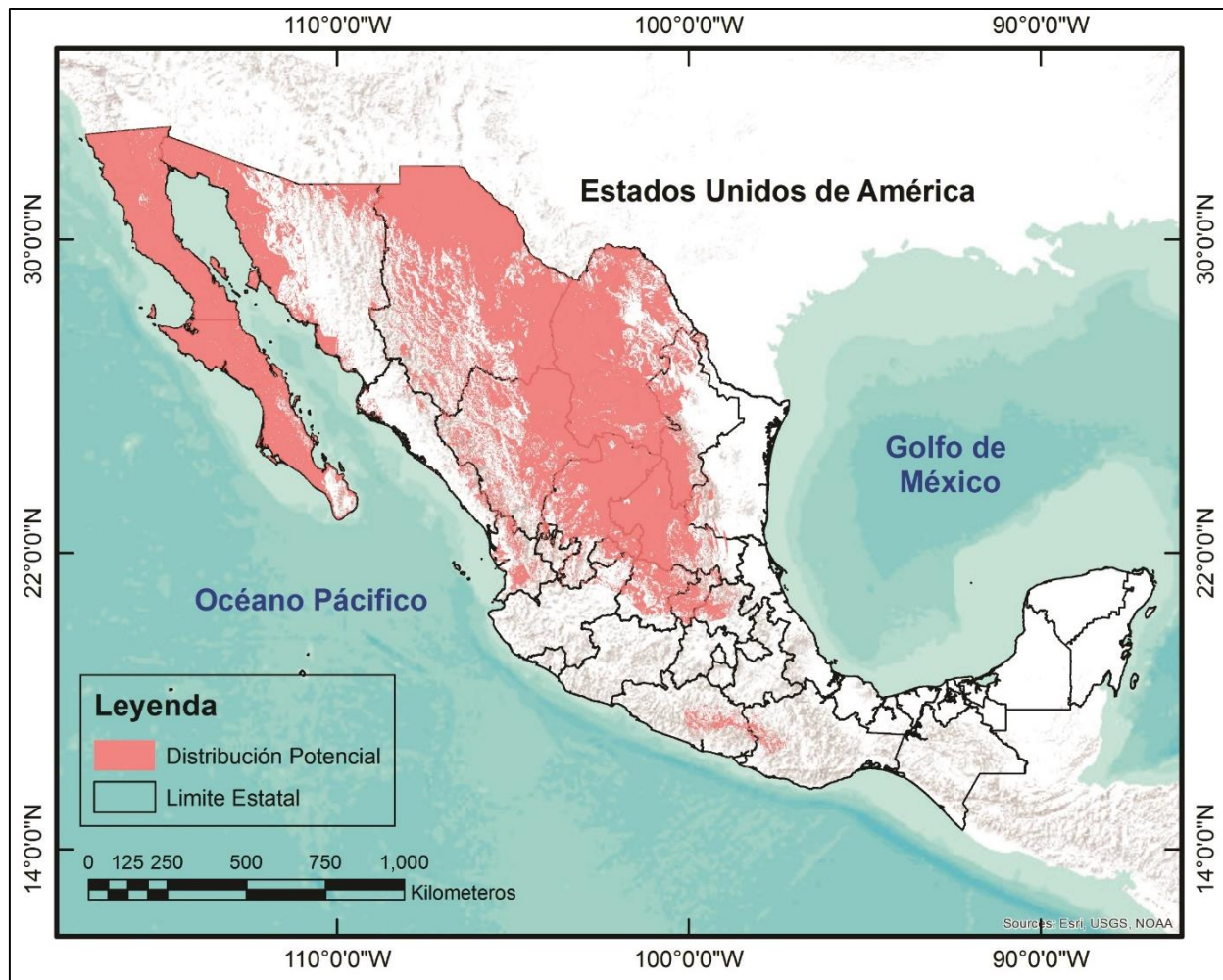


Figura 1. Área de distribución histórica del Águila Real en México (CONABIO, 2007)

estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, Durango, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro y Oaxaca (Figura 1); sin embargo existen áreas de distribución invernales por migraciones desde Estados Unidos Americanos identificadas principalmente en Baja California, Baja California Sur y Chihuahua (INE-SEMARNAT, 1999). El número de individuos que residen en Chihuahua se desconoce pero se han registrado al menos 50 nidos y alrededor de 78 ejemplares, según la lista de los Predios o Instalaciones que manejan Vida Silvestre (PIMUVS) y Unidades de Manejo para la conservación del Ambiente (UMA). Según la Norma Oficial Mexicana

(NOM-059-SEMARNAT-2010) es considerada en categoría de amenaza (SEMARNAT, 2012) y la principal causa del declive de las poblaciones de Águila Real es la pérdida o deterioro de su hábitat y la consecuente reducción en la disponibilidad de presas y sitios de anidación. Este fenómeno es causado principalmente por la agricultura, ganadería extensiva y urbanización (INE-SEMARNAT, 1999).

Interacción con el hombre

Entre las actividades humanas que influyen directa o indirectamente en el deterioro de su hábitat y disminución de ejemplares destacan:

- El saqueo de nidos para fines comerciales, aunque no se conoce la magnitud del problema, se sabe que los huevos son robados por coleccionistas o para incubarlos y criar pollos como mascotas o para la cetrería.
- Electrocución cuando se posan sobre las líneas eléctricas que cruzan los territorios donde habitan, principalmente en Janos, Chihuahua.
- Envenenamiento por compuestos tóxicos que se encuentran en sus presas, en lugares donde se practica el control de plagas con venenos o por el mal manejo de agroquímicos.
- Cacería, la cual a pesar de ser considerada como ilegal se presenta significativamente en México, ya sea por deporte, para obtenerlas como trofeos o fines ornamentales y por la amenaza que representa para el ganado y la fauna doméstica (CONANP, 2008).

Para contrarrestar estas acciones la conservación de la biodiversidad requiere una visión integral de los ecosistemas y de su funcionamiento; esto implica entender mejor a los individuos, poblaciones y comunidades ecológicas, como componentes dinámicos e interconectados. Incrementar el esfuerzo para tener acceso a información más detallada, en relación al manejo de vida silvestre, es de suma importancia, y algunas acciones inmediatas pueden ser las siguientes (SEMARNAT, 2011):

- Determinar el área de ocupación real para la especie.
- Determinar las variantes geográficas y ambientales permiten o restringen su existencia.
- Realizar estudios poblacionales y de abundancia.
- Adquirir conocimiento de los procesos biológicos y sus relaciones ecológicas
- Determinar la calidad estructural de su hábitat.

En principio, estas acciones permiten la evaluación, la cuantificación y el monitoreo de una serie de parámetros del entorno físico y biológico, lo que a su vez facilita observar tendencias, prevenir, y en su caso, resolver problemas del nicho ecológico (INE-SEMARNAT, 2006).

Nicho ecológico

Según Grinnell (1917) el nicho ecológico es la combinación de conjunto de requerimientos ambientales (elementos abióticos, recursos, depredadores, funciones fisiológicas, etc.), que permiten mantener la población sin migración.

La modelación del nicho ecológico es un instrumento que permite analizar los factores ecológicos, asociados a diferentes poblaciones y que influyen en distintos grados y modo, si esta información es analizada por múltiples tipos de algoritmos nos posibilita proyectar a nivel geográfico el área potencial que ocupa una especie (Martínez, 2010).

En las últimas décadas se han desarrollado diferentes métodos que permiten modelar la distribución potencial o nicho ecológico de las especies, dentro de los cuales se pueden mencionar: BIOCLIM, perfeccionado por Nix en 1986, DOMAIN y GARP. El objetivo de estos métodos es predecir la idoneidad del medio ambiente y describir espacialmente áreas de distribución. Si bien existen diversos algoritmos para determinar el nicho ecológico, MaxEnt se ubica entre los más conocidos y utilizados (Elith *et al*, 2006). Esta técnica combina estadística y métodos bayesianos para estimar distribuciones sujetas a restricciones dadas por la información ambiental (Phillips *et al*, 2006). Los fundamentos básicos del algoritmo de máxima entropía son los siguientes: a) La distribución de una especie se representa mediante una función de probabilidad sobre un conjunto de lugares en el área de estudio, b) se construye un modelo predictivo en base a un conjunto de restricciones (funciones de variables ambientales conocidas) y c) de las posibles

combinaciones, se utiliza la que minimiza la función de entropía media con el índice de Shannon, lo que permite realizar una selección óptima de variables en función de su significación y eliminar las que no aportan restricciones significativas al modelo (Felicísimo, 2010).

Fragmentación de hábitat

Por otra parte, los territorios o paisajes, son considerados como superficies heterogéneas en términos estructurales, formados por un mosaico que a su vez está conformado por un conjunto de unidades homogéneas entre las cuales se establecen relaciones espaciales y funcionales (Forman *et al*, 1995). Según el modelo de Forman (1995) el paisaje se compone de tres elementos espaciales: los parches (unidades básicas del paisaje que representan áreas discretas bajo condiciones medioambientales homogéneas), los corredores (elementos lineales) y la matriz (compuesta por el elemento más extensivo y concretado) (Martín, 2006). Estos elementos pueden ser evaluados por medio de patrones espaciales, descritos en un proceso que muestra como la distribución de los objetos geográficos cambia a través del tiempo y el espacio; incluso los atributos del paisaje pueden ayudar a cuantificar la magnitud de los procesos de degradación como la fragmentación del paisaje (Isaacs, 2011).

La fragmentación es comprendida como la pérdida de continuidad de un ecosistema y produce cambios importantes en la estructura de las poblaciones y comunidades de plantas, animales y ambiente físico, afectando su funcionamiento (Bolívar, 2009). Actualmente la fragmentación del hábitat se ha convertido en una de las más importantes amenazas para el mantenimiento de la biodiversidad en todos los ecosistemas terrestres, considerando tres componentes principales: pérdida del hábitat original, reducción del hábitat en parches y aislamiento de los parches del hábitat (Bolívar, 2009).

Una alternativa para analizar y evaluar el entorno como una de las estrategias básicas que permiten determinar la capacidad y a su vez satisfacer los requerimientos básicos de alguna especie es la aplicación de métodos cuantitativos en el estudio del paisaje como instrumentos de dinamización y mejora de la calidad del territorio mediante la ecología del paisaje. Esta es definida por Carl Troll en 1938 como el estudio de toda complejidad de relaciones causa-efecto que existen entre las comunidades de seres vivos y sus condiciones ambientales en una sección específica del paisaje (Vila *et al*, 2006).

Existe una gran variedad de software desarrollado para analizar el paisaje, entre este se puede mencionar: Fragstats, Grass, Patch Analyst y V-late, sin embargo es trabajo del investigador elegir los índices y software óptimos para cada caso de estudio.

Aunado a ello a partir del siglo XXI el uso de mapas y conocimiento geográfico ha tomado especial importancia (Bencomo, 2013); particularmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG's) son definidos como una poderosa herramienta diseñada para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. El propósito de los SIG's es simplificar el procesamiento de la información al permitir la manipulación de grandes volúmenes de datos estadísticos, espaciales y temporales (Meza *et al*, 2004). Además su fácil interpretación ayuda en el proceso de toma de decisiones y soluciones a problemas ecológicos, incluyendo una fácil y accesible opción de almacenamiento (Bencomo, 2013).

En el estado de Chihuahua se han realizado estudios de identificación de zonas de anidación y distribución, considerando cambios biofísicos y ambientales que perjudican la permanencia del Águila Real. Un ejemplo de ello es el Programa de acción para la conservación de la especie: Águila Real; generado por SEMARNAT en el 2008, pero actualmente no existe un estudio que permita determinar la degradación o recuperación del

hábitat frente a las actividades humanas utilizando SIG's.

Objetivos

Por todo lo anterior, en el presente trabajo se analizan en conjunto las características climáticas y topográficas que influyen en la presencia del Águila Real para describir su nicho ecológico espacial y estructuralmente, de esta manera se evidencia la influencia de las actividades antropogénicas en el hábitat de la especie en base a tres objetivos principales:

- Generar el modelo de distribución potencial actual de nicho ecológico en el estado de Chihuahua, mediante algoritmo de máxima entropía.
- Identificar las zonas con las características biofísicas particulares que determinan su existencia en base a las pruebas estadísticas de MaxEnt.
- Realizar el análisis de fragmentación de hábitat mediante métricas del paisaje adecuadas para describir el estatus del nicho ecológico.

Con los objetivos anteriores se plantea la hipótesis: “El cambio de uso de suelo derivado de las actividades humanas ha provocado una fragmentación de hábitat, induciendo a la degradación del Águila Real en Chihuahua”

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estado de Chihuahua se localiza en la parte central del norte del país, colinda al este con el estado de Coahuila de Zaragoza, al sur con Durango, al oeste con Sonora y Sinaloa y al norte con los Estados Unidos Americanos, abarcando los estados de Texas y Nuevo México (Figura 2). Está localizado al norte desde 25° 30" a 31° 47" latitud norte, y al oeste desde los 103° 18" hasta 109° 07" longitud oeste (Banda, 2013). Cuenta con una extensión de 253,571 km² ocupando en 12.6%

del territorio nacional y siendo el estado más grande de la República Mexicana. Al 2010, el estado de Chihuahua está dividido en 67 municipios. Presenta una altitud que oscila desde los 1440 hasta los 3300 msnm (Fierro, 2013).

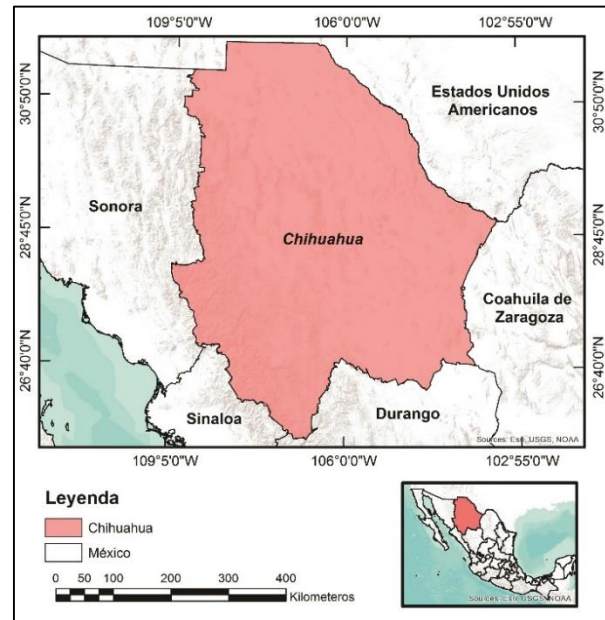


Figura 2. Localización del área de estudio.

En el 40% de su territorio existe clima muy seco, localizado en las sierras y Llanuras del Norte; 33% de clima Seco y semiseco en las partes bajas de la Sierra Madre Occidental y en el 24% Templado subhúmedo, localizado en las partes altas de la misma. Sólo una pequeña proporción del territorio (3%) presenta clima Cálido subhúmedo (INEGI 2011). La temperatura media anual en el estado es de 17 °C. Las lluvias son escasas y se presentan durante el verano, la precipitación total anual es alrededor de 500 mm anuales. La temperatura más alta es mayor de 30 °C, y se presenta en los meses de mayo a agosto y la más baja, alrededor de 0 °C, en el mes de enero (INEGI 2011).

El territorio estatal pertenece a dos grandes provincias que dividen la entidad en dos porciones más o menos de la misma superficie: Provincia Sierra y Llanuras del Norte y Provincia Sierra Madre Occidental (INEGI

2011). Predominan los matorrales desérticos que se encuentran distribuidos desde las llanuras y desiertos del noreste (dunas de Samalayuca). Le siguen los bosques de coníferas y encinos que se desarrollan en la Sierra Madre Occidental, además de los pastizales en las mesetas centrales (INEGI 2011). En los matorrales algunas de las especies de fauna son: zorra del desierto, víbora de cascabel, tortuga del desierto y rata canguro. En los bosques de coníferas y encinos: rata y ardilla de tierra y voladora, murciélago, musaraña desértica y de montaña y tecolote. En los pastizales: zorrillo, borrego cimarrón y puma. Animales en peligro de extinción: ratón de campo, oso negro, musaraña de Arizona, cotorra serrana occidental, bisonte americano, Águila Real y coyote (INEGI 2011).

Cuenta con dos reservas de la biosfera en Mapimí y Janos, dos parques nacionales: Cascada de Bassaseachi y cumbres de Majalca y las áreas de protección de flora y fauna: Cañón de Santa Elena, Tutuaca, Campo verde, Papigochi y Médanos de Samalayuca (INEGI, 2011). El parte aguas continental discurre a lo largo de las cimas de la Sierra Tarahumara y divide la superficie de la entidad en tres vertientes: Vertiente del Golfo de California, Vertiente del Golfo de México y Vertiente Interna. Las corrientes de la Vertiente del Golfo de California en que predominan los tributarios de los ríos Yaqui, Mayo, Fuerte y Sinaloa, alimentan las cuencas que dan su riqueza agrícola a Sonora y Sinaloa; sin embargo, su velocidad y encajonamiento impide el aprovechamiento local (Banda, 2013).

Modelación de nicho ecológico

El presente estudio se planteó en tres etapas de acuerdo a los objetivos específicos (Figura 4); para la generación de la distribución potencial de nicho ecológico de Águila Real se utilizaron 34 registros de ocurrencia actuales en el estado de Chihuahua (Figura 3); estas fueron

obtenidas de la base de datos de acceso libre Global Biodiversity Information Facility, GBIF (<http://www.gbif.org/occurrence>); la información se refiere a la evidencia sobre más de un millón de especies, recogidas a lo largo de tres siglos de exploración de la historia natural y que incluye las observaciones actuales de científicos, investigadores y programas de monitoreo automatizado (GBIF, 2013).

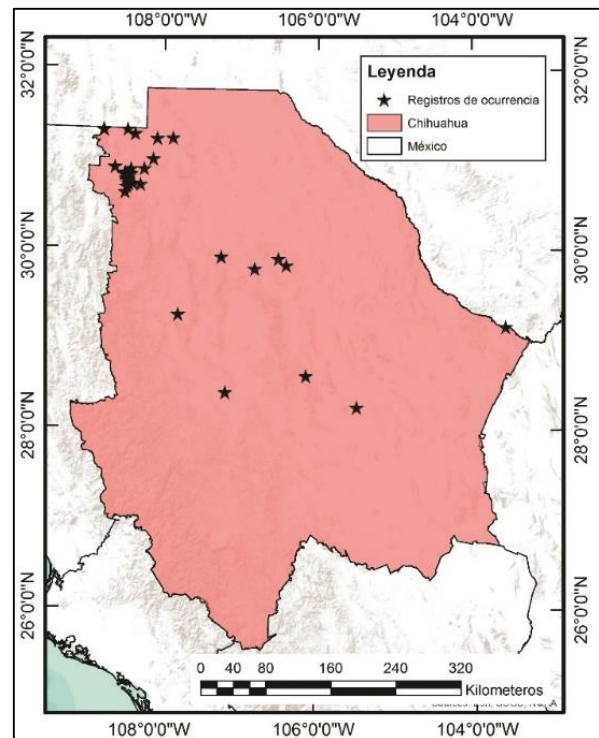


Figura 3. Datos de presencia del Águila Real en Chihuahua.

Se depuraron las bases de datos, omitiendo registros fuera del área de estudio e información repetida; cada registro tiene únicamente tres campos donde se describe el nombre científico de la especie, su latitud y su longitud en grados decimales. Igualmente se utilizaron un conjunto de 22 variables biofísicas integrada por 19 envoltentes bioclimáticos derivados de Worldclim (<http://www.worldclim.org/>), con resolución de 1 km, desarrollados por Hijmans y colaboradores mediante la interpolación de información mensual sobre precipitación y la

media, máxima y mínima temperatura comprendida en el periodo 1950-2000 en superficies de todo el mundo (Hijmans *et al*, 2005); y 3 variables topográficas incluyendo el modelo digital de elevación (DEM), mapa de pendientes de laderas y dirección solar, con la misma resolución obtenidos de igual forma en Worldclim. El modelaje de nicho ecológico se realizó en MaxEnt 3.3.3k, desarrollado por

Dudik, Phillips y Schapire (2004) integrando los dos parámetros anteriores: conjunto de localidades de ocurrencia en formato CVS (Comma-separated values por sus siglas en ingles) y coberturas geográficas en formato ASCII (Tabla 1). Estas variables biofísicas pueden ser de distintas características (continuas y categóricas) (Phillips *et al.*, 2006), en este caso se establecieron de tipo continuas.

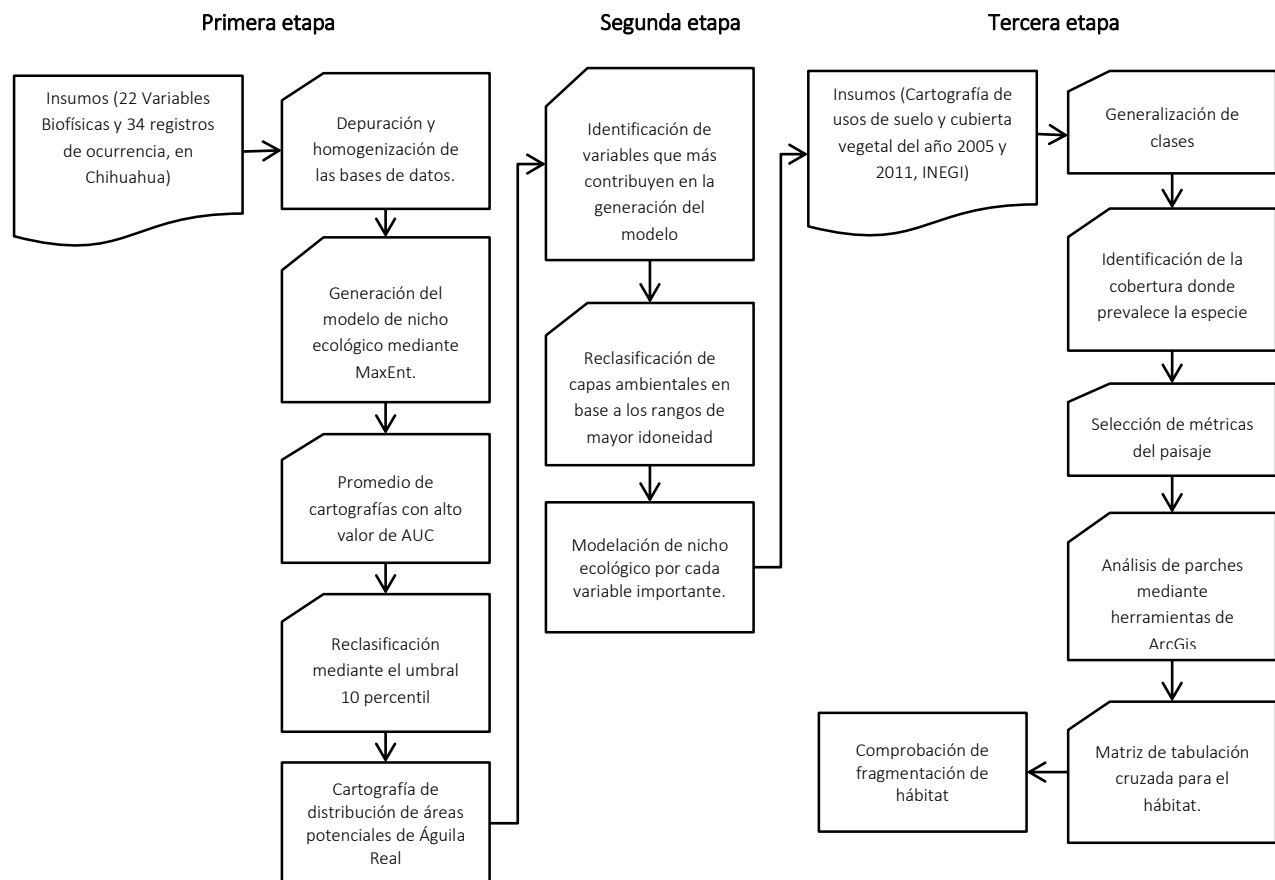


Figura 4. Diagrama general de la metodología del presente estudio.

Se determinó el tipo de salida logístico donde los valores fluctúan entre 0 y 1, 0 indica incompatibilidad y 1 muestra idoneidad; de esta manera su interpretación biológica es más fácil debido a que está basada en las restricciones impuestas por los envoltentes ambientales (Phillips *et al*, 2008). Se realizaron 20 réplicas en formato de remuestreo Bootstrap, dedicando el 50% de

puntos (17 en total) para validación. Por otra parte, MaxEnt integra una serie de estadísticos y gráficos complementarios que ayudan a la evaluación del nicho ecológico (Felicísimo, 2010): 1). La curva ROC es un estadístico de ajuste que muestra las relaciones entre falsos positivos y falsos negativos para los diferentes umbrales y el área bajo la curva (AUC) (Felicísimo, 2010).

Tabla 1. Envoltentes ambientales.

ID	ENVOLVENTE AMBIENTAL
BIO 1	Temperatura media anual
BIO 2	Rango de temperatura media mensual
BIO 3	Isotermalidad (P2/P7) (*100)
BIO 4	Estacionalidad de la temperatura
BIO 5	Temperatura máxima del mes más cálida
BIO 6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO 7	Rango anual de temperatura (P5-P6)
BIO 8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO 9	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO 10	Temperatura media del trimestre más seco
BIO 11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO 12	Precipitación media anual
BIO 13	Precipitación del mes más húmedo
BIO 14	Precipitación del mes más seco
BIO 15	Estacionalidad de la precipitación
BIO 16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO 17	Precipitación del trimestre más seco
BIO 18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO 19	Precipitación del trimestre más frío
DEM	Modelo digital de elevación del terreno
ASP	Dirección de la pendiente (Grados)
SLOPE	Tasa de cambio máximo de la altura
USOS	Usos de suelo y cubiertas vegetales

Los valores de AUC fluctúan de 0 a 1, donde 0.5 indica que el modelo no tiene poder predictivo, 1 significa una discriminación o un modelo perfecto, y los valores por debajo de 0.5 indican una relación mucho menor que la esperada al azar (Guisan *et al*, 2007); 2). La prueba de navaja (Jackknife) muestra en escala porcentual las variables que contribuyen en mayor medida a llegar a una buena separación entre las zonas idóneas e inadecuadas. Son tres los gráficos resultantes en este estadístico útil para analizar el comportamiento de las variables, consistentes en un gráfico de ganancia regularizada de entrenamiento, otro de ganancia y un último de AUC y 3). El análisis en sentido biológico debe apoyarse de la examinación de las curvas de respuesta de la predicción con cada variante, los cuales son gráficos donde se muestra cómo afecta cada envoltente ambiental a la predicción de

MaxEnt de modo que el eje de las ordenadas muestra la probabilidad predicha de condiciones idóneas ante los valores de cada variante que aparece en el eje de las abscisas (Felicísimo, 2010). En este caso se evaluaron los rangos de idoneidad para las variables que aportan más al modelo, obtenidos de la prueba Jackknife considerando el AUC.

De los resultados obtenidos en el modelaje derivado de MaxEnt se seleccionaron solamente las 3 cartografías donde se muestren los porcentajes más altos de AUC para incorporarlas y obtener un mapa consenso mediante la sumatoria de estos en la calculadora del software en ambiente SIG, ArcGis® de ESRI® en su versión 10.2. Estos resultados deben interpretarse como valores de idoneidad relativa.

Una vez generado el mapa consenso se realizó una reclasificación dentro del mismo software mediante la herramienta “Reclassify” para la obtención del mapa dicotómico a partir del valor donde estén localizados el 90% de los puntos de muestreo. Aquellas probabilidades por debajo del umbral (percentil 10) serán transformadas a cero, puesto que estos valores no reflejan el nicho adecuado para que la especie esté presente (Guisan, 2007).

Finalmente se validó la cartografía resultante. El método simplemente consiste en verificar que porcentaje de ocurrencias se presentan dentro de las áreas de distribución para así confirmar su fiabilidad.

Envoltentes ambientales

Los resultados gráficos y estadísticos que arroja MaxEnt fueron analizados por separado; mediante la prueba estadística Jackknife se obtuvieron las tres variables ambientales que contribuyen mayormente en la generación del modelo. La idea básica de la prueba consiste en calcular el efecto de cada envoltente ambiental por separado; se recurre a cada variable individualmente y se omite para generar la modelación (Fierro, 2013).

A través de las curvas de respuesta se obtuvieron los rangos específicos de mayor posibilidad de presencia de la especie, los datos fueron obtenidos a través de los archivos DAT (tipo texto) en el folder “Plots” de los resultados de MaxEnt; las gráficas muestran la relación entre la probabilidad de existencia y los valores de las variables. Con esta información se reclasificaron los tres envoltentes ambientales más importantes y se mostraron las zonas de mayor idoneidad dentro del nicho ecológico generado anteriormente. Los resultados fueron comparados con el uso de suelo y cubiertas vegetales del año 2011, esto permitió obtener el porcentaje de ocupación de superficie natural y no natural dentro del área de distribución; de esta manera se contrasta la influencia de las actividades antropogénicas en el nicho de la especie.

Fragmentación de hábitat

El análisis de fragmentación de hábitat se realizó en el modelo de nicho ecológico del Águila Real en el estado de Chihuahua, considerando dos periodos en el tiempo: año 2005 (Figura 5) y 2011 (Figura 6); para ello se utilizó la cartografía actualizada de usos de suelo y cubiertas vegetales generada por INEGI a una escala 1:250,000, en su serie VI y V respectivamente.

Fue necesario generalizar los diferentes tipos de cobertura para homogenizar ambas cartografías obteniendo 6 clases finales como se muestra en la tabla 2, esto con el fin de obtener resultados más representativos.

El análisis estadístico del paisaje se basó en las herramientas de “Patch Analyst”, versión 5, este es una extensión para el sistema ArcGis® que facilita el análisis espacial de los parches del paisaje, y el modelado de los atributos asociados a los parches. Se utiliza para el análisis de patrones espaciales, a menudo en apoyo de la modelación del hábitat, la conservación de la biodiversidad y el manejo forestal (Bencomo, 2013). Se manejaron 8 métricas o índices de paisaje (Tabla 3) con el

atributo de agregación/fragmentación, los resultados son de tipo cuantitativo y confirman si existe o no segmentación en los parches, en este caso se interpretaron solamente los efectos en la clase donde existen más registros de presencia.

Tabla 2. Listado de cubiertas vegetales y usos de suelo definidas en el área de estudio.

CLAVE	CATEGORÍA	ÁREA (Km ²)
1	Agricultura	22,524.06
2	Asentamientos humanos	1,215.77
3	Bosque coníferas-latifoliadas	56,857.06
4	Cuerpo de agua	7,242.4
5	Matorral-Pastizal	161,623.24
6	Selva Baja Caducifolia	4,108.42
	TOTAL	253,571

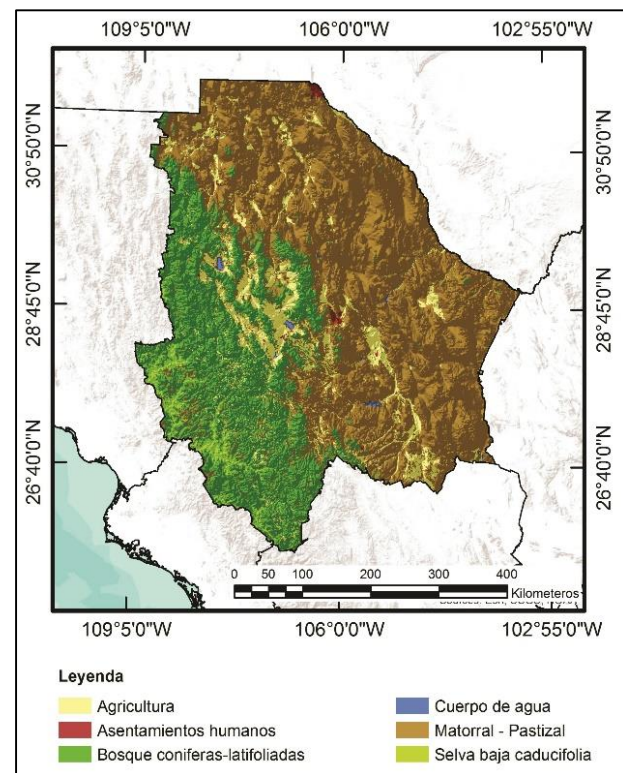


Figura 5. Usos de suelo y cubierta vegetal de Chihuahua en el año 2005, Serie IV, INEGI.

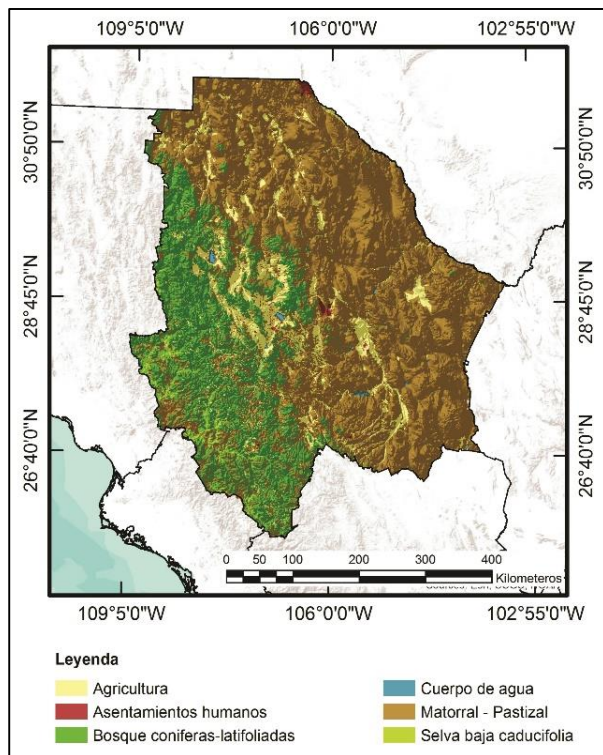


Figura 6. Usos de suelo y cubierta vegetal de Chihuahua en el año 2011, Serie V, INEGI.

En base a las cartografías de usos de suelo y cubierta vegetal se generó una matriz de tabulación cruzada, mediante la herramienta “CrossTab” del software IDRISI en su versión Selva. Los resultados permiten analizar de manera cuantitativa la dinámica que presentan las pérdidas, ganancias y la persistencia de cada una de las clases presentes en el hábitat de la especie (Santana *et al*, 2011).

Los resultados reflejan el incremento o decremento del área de la clase de interés durante el periodo 2005-2011 y permiten conocer a través de que otra clase sucede el cambio.

Toda la información geoespacial manejada para realizar los objetivos de este proyecto, tanto en formato raster como vectorial, se proyectó mediante el sistema de coordenadas geográficas WGS_1984 (World Geodetic System, por sus siglas en inglés). De esta manera se homogenizan las características visuales del resultado final.

Tabla 3. Índices del paisaje utilizados en el análisis de fragmentación de hábitat (Vila, 2006).

MÉTRICA	ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
Área total del paisaje	TLA	Es igual a la superficie total de todo el paisaje
Número total de parches	NP	Se expresa como el número total de fragmentos en el paisaje.
Tamaño promedio de parche	MPS	La importancia de esta variable es que por sí sola resulta la pieza más útil de la información obtenida en el paisaje, ya que la reducción progresiva en el tamaño de los fragmentos del hábitat es un componente clave en la fragmentación, es decir cuánto más pequeño sea al parche más fragmentación existirá.
Borde total	ET	Es una medida absoluta del total del contorno de todas las zonas de contacto de los diferentes tipos de fragmentos.
Densidad de bordes	ED	Es igual a la suma de las longitudes de los fragmentos en relación con la superficie del paisaje.
Borde promedio de parche	MPE	Es igual al valor medio del borde de los fragmentos en el paisaje.
Coeficiente de variación del tamaño del parche	PSCOV	Coeficiente de la variación de los tamaños de parche en relación con el tamaño promedio de los fragmentos en el paisaje.
Área total de la clase	CA	Es igual a la superficie total por clase

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelación de nicho ecológico

Los valores de área debajo de la curva (AUC) son mayores a 0.85 en los 20 modelos generados por MaxEnt, lo cual indica que se estima adecuadamente el nicho ecológico en un 85% en todos los casos. Sin embargo los 3 valores mayores de AUC se presentan en las réplicas número 3, 9 y 12 (Tabla 4), con ellas se generó el mapa de idoneidad del nicho.

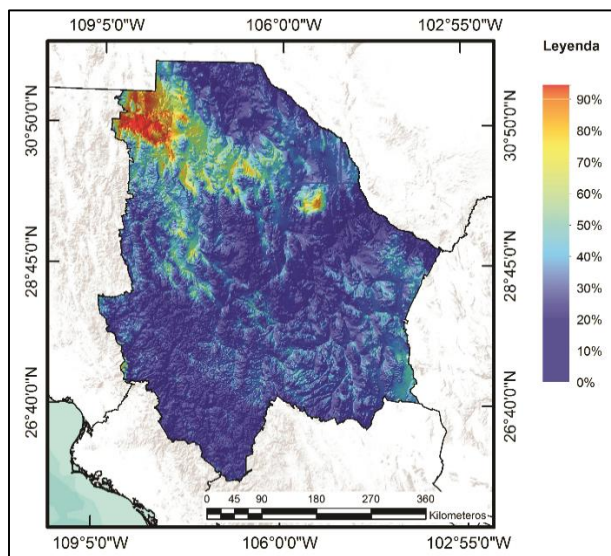


Figura 7. Mapa de idoneidad de Águila Real en Chihuahua.

La cartografía resultante se denomina mapa consenso (Figura 7) y representa la idoneidad de nicho ecológico para la especie, es decir la región con las condiciones ambientales óptimas.

En este caso las zonas con mayor porcentaje de idoneidad se presentan en la franja septentrional del estado, específicamente en la Altiplanicie Mexicana del Noroeste, adentrándose a la Sierra Madre Occidental; así mismo se muestran regiones con menor porcentaje de idoneidad pero con probable significancia al sureste del estado donde existen matorrales en espacios abiertos.

Prácticamente el nicho ecológico describe dos escenarios de idoneidad para la especie:

bosques de pino-encino con relieve accidentado cubierto por árboles de gran altura y planicies de pastizal-matorral, esta diferencia radica en la actividad que realiza el Águila Real en cada ecosistema, pues requiere de lugares altos y seguros para su reproducción y/o crianza, y necesita de lugares abiertos y de fácil acceso para cazar y alimentarse; en los pastizales se encuentra la mayor parte de su dieta.

El umbral promedio para la generación del mapa dicotómico fue del 12.46% considerando el valor de 10 percentil en cada replica con alto valor de AUC. El mapa resultante (Figura 8) muestra las regiones de ausencia y presencia de la especie; donde el nicho ecológico cubre 112, 495.98 km² de superficie total, es decir un 44.36% del territorio estatal.

Tabla 4. Valores de AUC para cada replica generada por MaxEnt

Número de réplica	AUC
0	0.9007
1	0.9157
2	0.8733
3	0.9287
4	0.915
5	0.9287
6	0.8798
7	0.9006
8	0.8976
9	0.9313
10	0.9002
11	0.8671
12	0.9402
13	0.8826
14	0.8915
15	0.8762
16	0.8959
17	0.8939
18	0.917
19	0.8622

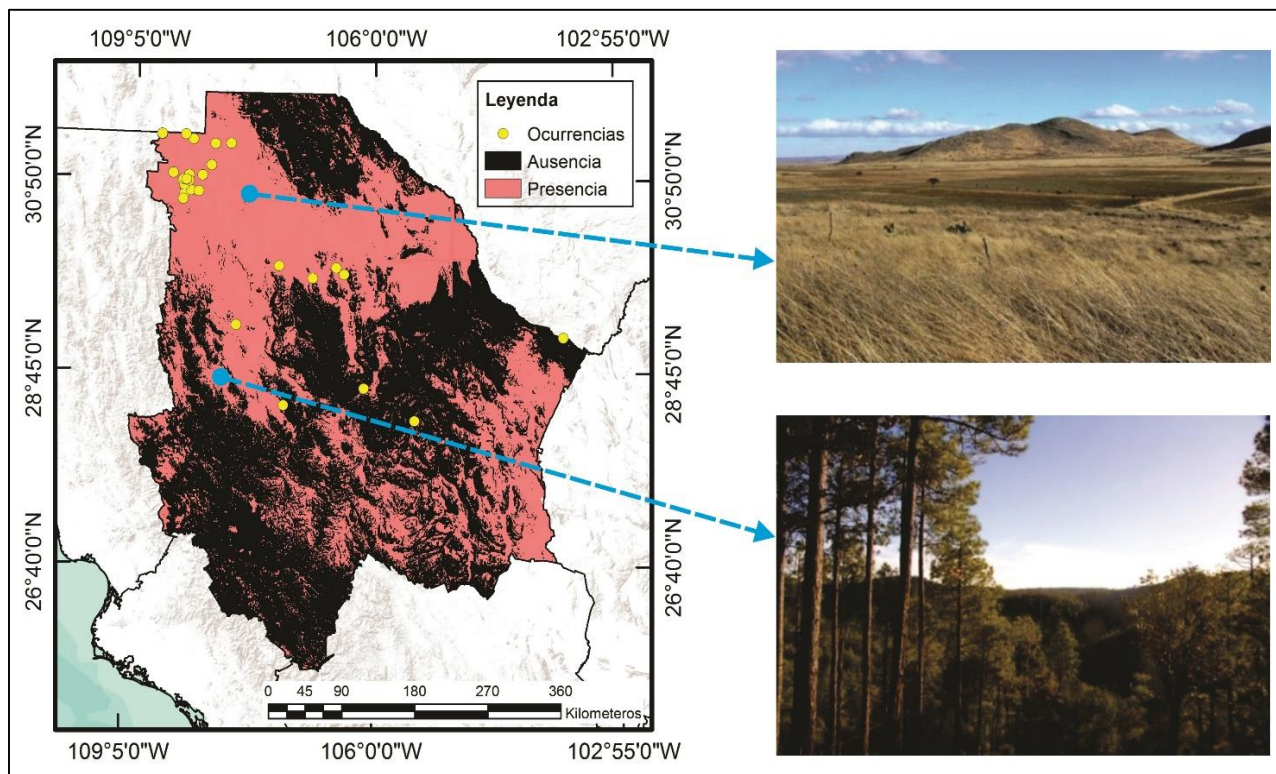


Figura 8. Mapa de ausencia-presencia del Águila Real en Chihuahua

Envolventes ambientales

Los valores de las curvas de respuesta permiten describir específicamente el nicho ecológico y determinar áreas con mayor o menor probabilidad de presencia, considerando las unidades de medida de cada envolvente ambiental. En otras palabras los resultados permiten definir concretamente las condiciones climáticas y topográficas preferidas por la especie. Éstos pueden ser descritos para cada uno de los envolventes ambientales seleccionados pero para efectos de representatividad se muestran las tres más importantes (Figura 9) ya que explican el modelo en un 60%. Estas son:

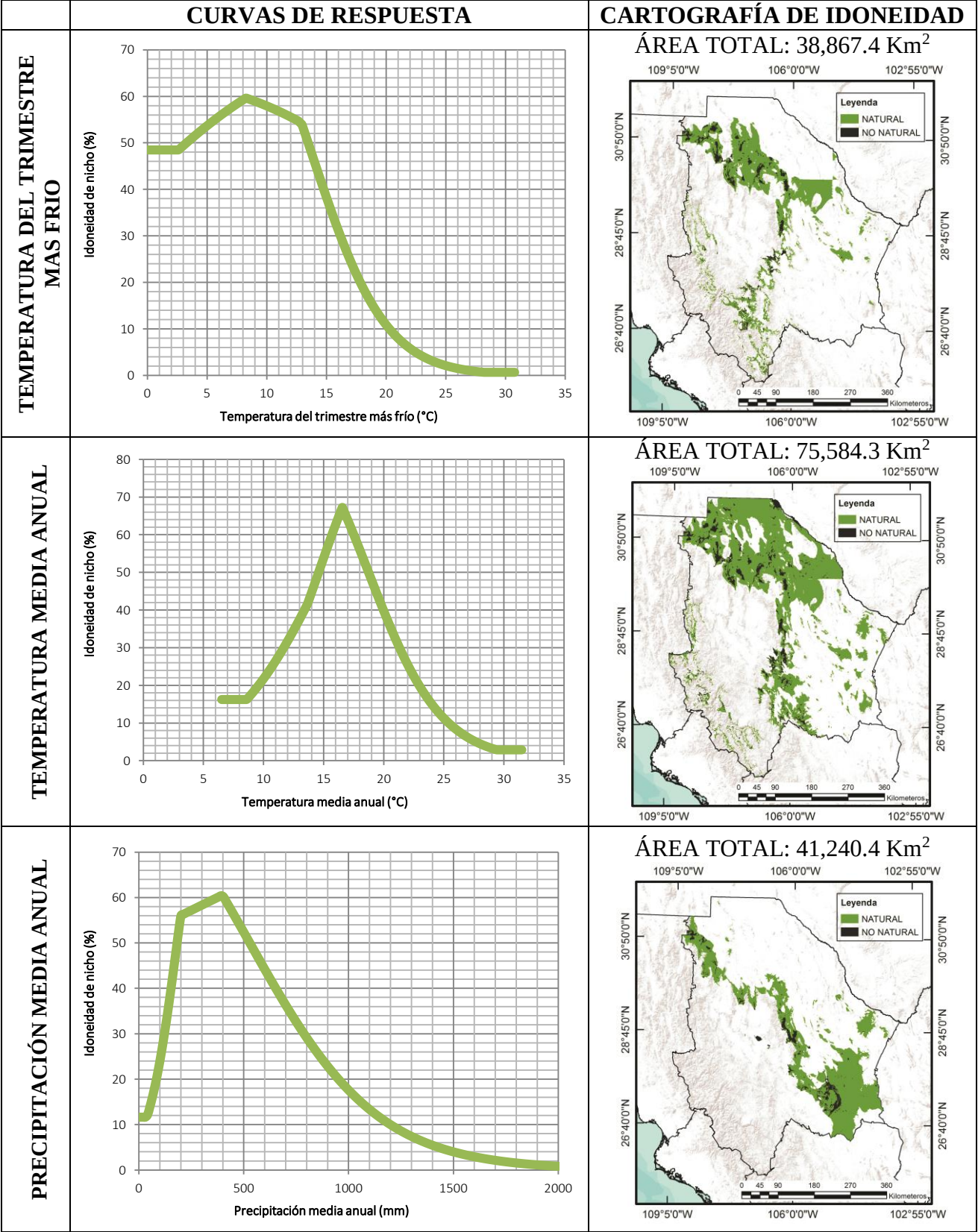
- Temperatura media anual
- Temperatura media del trimestre más frío
- Precipitación anual.

En la tabla 5 se observan los resultados de cada envolvente y se explican gráficamente los

rangos de mayor idoneidad en el nicho (con una probabilidad de 60%); en la segunda columna se muestra los gráficos de las curvas de respuesta, éstos revelan que la temperatura media anual presenta valores con mayor probabilidad de presencia entre 16.0 °C y 17.5 °C, la temperatura del trimestre más frío se presenta entorno a los 8.0 °C y 8.8 °C y la precipitación media anual entre 339.17 mm y 414.25 mm.

En la tercer columna se muestran las cartografías reclasificadas con base en los rangos de mayor probabilidad de existencia. Éstas reflejan una proporción del nicho ecológico total; en los tres casos se demuestra que más del 85% de superficie es natural y el resto se define no natural, es decir asentamientos humanos y zonas agropecuarias. Aparentemente no existe afectación por cambio de usos de suelo en las zonas con mayor idoneidad pero la especie puede ser perturbada indirectamente por otro tipo de actividades antropogénicas.

Tabla 5. Rangos de idoneidad dentro del nicho ecológico para las tres variables que contribuyen más en la generacion del modelo.



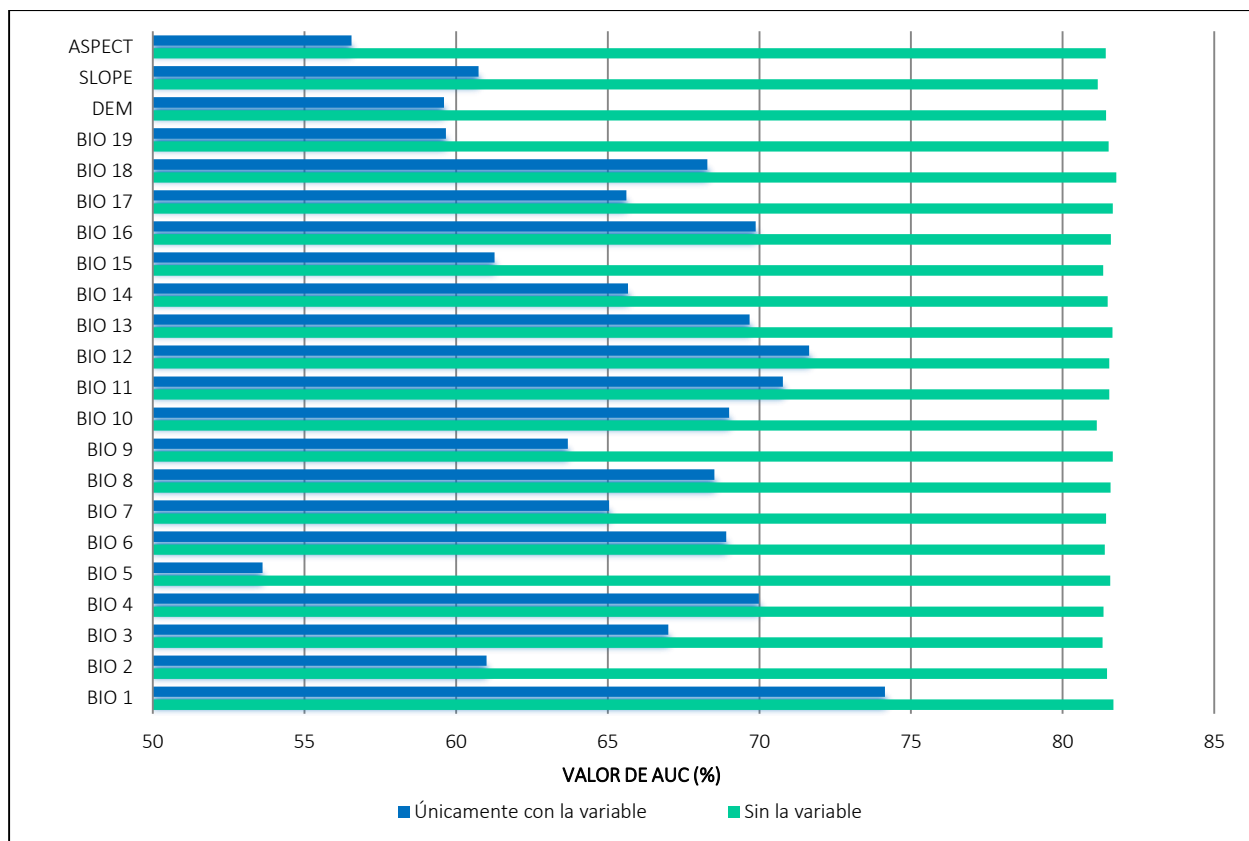


Figura 9. Gráfica de Jackknife para AUC

Fragmentación de hábitat

El 74% de los registros de presencia del Águila Real se encuentran dentro de la clase matorrales y pastizales (Figura 10); por lo que el análisis de fragmentación de hábitat se realizó solamente en esta cubierta vegetal. Los ocho índices de paisaje utilizados en el análisis son básicos para la descripción estructural del hábitat y permiten confirmar si existe o no fragmentación. En general se observa la generación de nuevos polígonos de matorral-pastizal incrementando también el borde de los parches, esto sugiere evidentemente que el área total de la clase aumentó a lo largo del periodo 2005-2011. El matorral y pastizal dentro del hábitat de la especie está incrementándose a costa de otra u otras coberturas (Figura 11 y 12). Así mismo el aumento de la variación del tamaño de los parches y la reducción del

promedio en el área y borde supone que los nuevos polígonos son generalmente pequeños o menores a los ya establecidos (2.85Km² en promedio) (Tabla 6).

El fenómeno de fragmentación se presenta cuando se comprueba que más del 50% del hábitat está destruido y existe cambio de uso de suelo por expansión urbanística, procesos de industrialización, agricultura y silvicultura e infraestructuras viales; sin embargo con los resultados obtenidos se puede confirmar que no existe una fragmentación de hábitat, por el contrario en cuanto a estructura del paisaje se refiere puede existir un proceso de recuperación del nicho ecológico.

La degradación del hábitat de la especie aparentemente no está influenciada por la transformación del territorio, pero es necesario cuestionar otros factores naturales o antropogénicos que si repercuten en la

permanencia de la especie, es decir para afirmar la degradación del hábitat se deben analizar los procesos biológicos del Águila Real y evaluar las afectaciones que provocan las actividades humanas indirectamente en el nicho ecológico o en la misma especie.

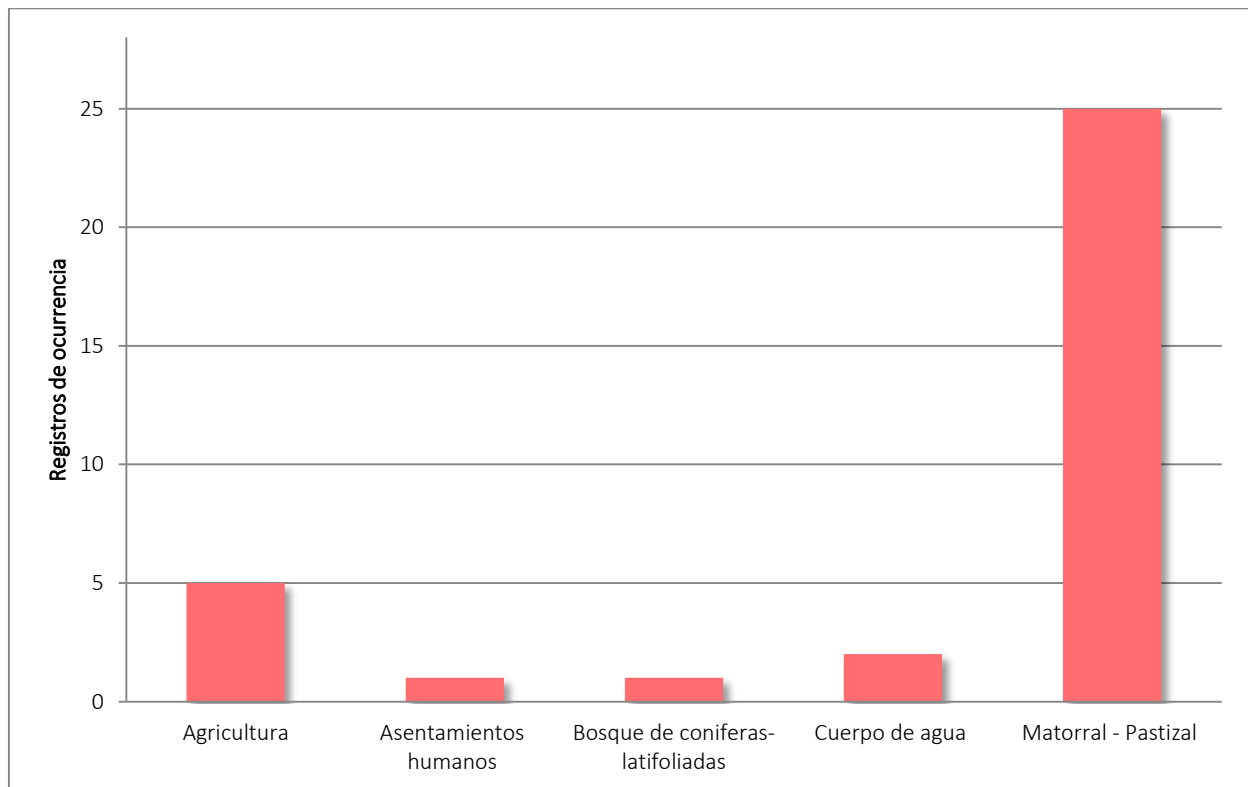


Figura 10. Grafica de frecuencias de cada ocurrencia del Águila Real registrada en el estado de Chihuahua para distintos usos de suelo.

Tabla 6. Resultados del analisis de parches en el nicho ecológico del Águila Real para la clase Matorral-Pastizal, expresados en Km²

ÍNDICE	2005	2011	CAMBIO
TLA	1124959.824	1124959.824	=
NP	467.6	542.1	+
MPS	167.5637218	148.5879098	-
ET	13251489.68	14245886.11	+
ED	1.17795226	1.265651368	+
MPE	2833.937057	2627.907418	-
PSCOV	120.8960441	125.8677413	+
CA	783527.9631	805495.0588	+

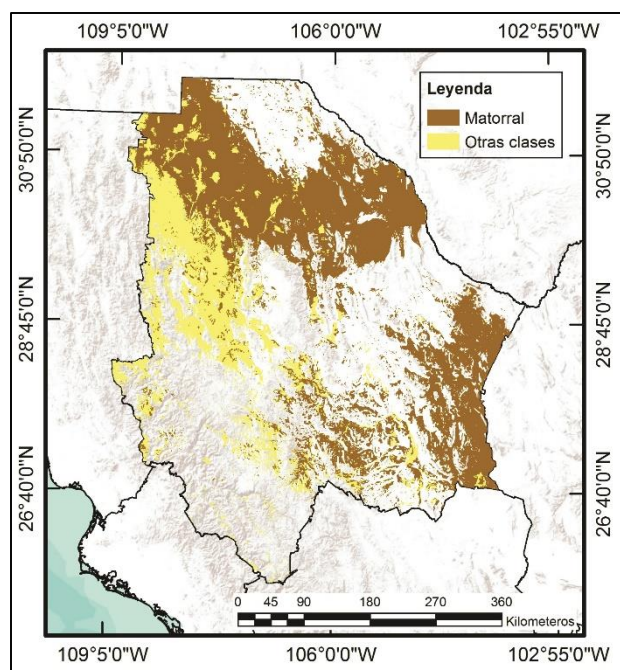


Figura 11. Áreas de Matorral-Pastizal dentro del nicho ecológico del Águila Real en el 2005.

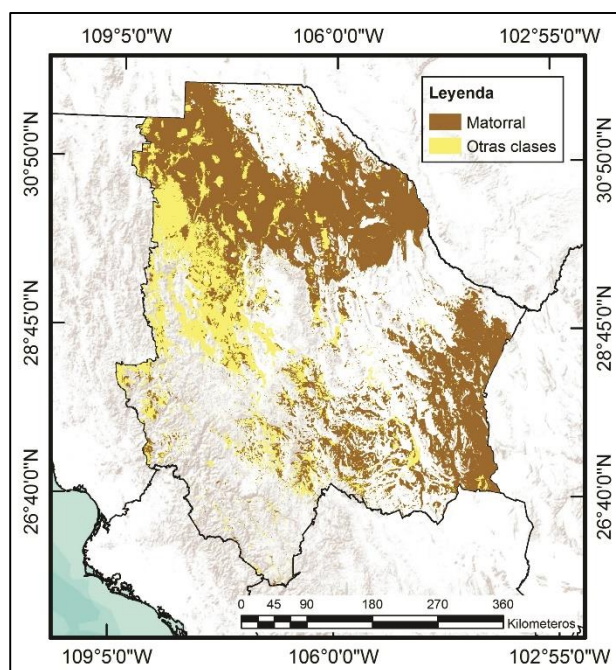


Figura 12. Áreas de Matorral-Pastizal dentro del nicho ecológico del Águila Real en el 2011.

Tabla 7. Matriz de tabulacion cruzada para el periodo 2005-2011, expresada en Km²

2011/2005	Agricultura	Asentamientos humanos	Bosque coníferas-latifoliadas	Cuerpos de agua	Matorral Pastizal	Selva baja caducifolia	TOTAL
Agricultura	11897.21976	9.58213432	33.53747012	4.79106716	1049.243708	0	12994.37414
Asentamientos humanos	81.44814172	330.583634	0	0	23.9553358	0	435.9871116
Bosque coníferas-latifoliadas	9.58213432	0	17851.51624	0	201.2248207	4.79106716	18067.11426
Cuerpos de agua	4.99106716	0	0	349.7479027	9.58213432	0	364.3211042
Matorral-Pastizal	435.9871116	0	2941.715236	4.79106716	76815.17978	52.70173876	80250.37493
Selva baja caducifolia	0	0	0	0	28.94640296	354.5389698	383.4853728
TOTAL	12429.22821	340.1657684	20826.76894	359.330037	78128.13218	412.0317758	112495.6569

Por otra parte la matriz de tabulación cruzada (Tabla 7) demuestra que la clase de interés incrementa su área mayormente sobre la cobertura bosques, ya que 2,941.71 has pasan de ser áreas forestales a pastizales o matorrales, probablemente por el desmonte que se practica en la región para generar nuevas áreas de agricultura que con el paso del tiempo son

abandonadas y poco a poco regresan a su estado natural. Esto explica las otras 435.98 has que en el año 2005 pertenecían a la clase agricultura y en el 2011 son pastizales o matorrales. A pesar de que se observa un incremento general en el área total del matorral-pastizal, si existe un cambio negativo en algunas zonas; cerca de 1049.24 hectáreas

han pasado o regresado a ser áreas agrícolas. A pesar de que esta actividad económica puede ser de temporal, es muy demanda en el estado de Chihuahua y una de las principales impulsoras de la pérdida de biodiversidad; por lo que la amenaza a la especie puede incrementarse en este sentido.

CONCLUSIONES

El modelaje de nicho ecológico mediante MaxEnt es un primer acercamiento para determinar áreas de distribución potencial, el haber incorporado envolventes ambientales y topográficas permitió obtener resultados similares a la distribución potencial de CONABIO, sin embargo es importante comparar el modelo al incorporar nuevas capas en la ejecución del mismo. Algunas variables que pueden ser integradas en la modelación utilizando otros métodos estadísticos y que probablemente determinen con mayor precisión el nicho ecológico del Águila Real son: relación ecológica, tipo de vegetación, etapas de reproducción, adaptación y biología de la especie; en este caso no fueron consideradas debido a la falta de información espacial que corresponda a los puntos de ocurrencia del Águila.

Los registros de presencia seleccionados en el área de estudio no especifican la condición en que fueron tomados, es decir no describe la actividad del ejemplar en el momento de captura; de integrarse esta información se podría explicar que está pasando con las poblaciones del Águila Real en el estado, en sus distintas etapas.

Por otra parte, en la identificación de envolventes ambientales importantes y en su reclasificación, las zonas donde se expresan los rangos con mayor probabilidad de presencia permiten describir específicamente el nicho ecológico de la especie, estas zonas son las ideales para que habite el Águila Real y las estrategias de reserva y/o conservación pueden enfocarse particularmente en esas áreas. Cuanto mayor sea la superficie de idoneidad en

cada variable, mayor es la probabilidad de la permanencia del ave, aunque debido al cambio climático global u otras causas, estas zonas pueden cambiar a lo largo del tiempo y el espacio.

En el análisis de ecología del paisaje se pudo comprobar que no existe una fragmentación en el hábitat, sin embargo no es posible confirmar las afectaciones al Águila Real por actividades antropogénicas. Para ello es necesario considerar tres premisas importantes:

- 1) El Águila Real es un ave depredadora por lo que su alimentación depende de otras especies; a pesar de que no existe fragmentación en el hábitat del Águila, pueden ocurrir procesos de degradación en el hábitat de mamíferos, reptiles u otras aves con las cuales tenga alguna relación ecológica.
- 2) Los cambios ocurridos en el hábitat están relacionados directa o indirectamente con las actividades económicas realizadas por el ser humano principalmente la agricultura, por lo que las afectaciones pueden ser de otro tipo, por ejemplo derivadas del uso de fertilizantes, insecticidas y/o químicos, o derivados de la cacería por la amenaza que representa esta ave para el ganado.
- 3) La modalidad de transformación del uso de suelo posiblemente no es la apropiada para la permanencia del Águila Real. Los polígonos por lo general son pequeños y vulnerables a la influencia de actividades humanas.

El haber incorporado Sistemas de Información Geográfica fue de gran ventaja para el manejo de datos e interpretación de los mismos, ya que cuenta con un recurso gráfico y estadístico. Además la utilización de métricas del paisaje en este tipo de estudios, puede ayudar para el monitoreo de la transformación del hábitat y predicción de los efectos o repercusiones en la biodiversidad.

Sin embargo actualmente existe una deficiencia en la generación de Inventarios Forestales en México y las cartografías que han sido generadas solamente se han evaluado parcialmente, en algunas regiones del país. Los errores asociados a la diferencia de escala o digitalización de los mismos, frecuentemente generan cambios en las coberturas que pueden distorsionar la realidad; por ello la principal limitante que existió en este análisis es referida a la falta de información espacial precisa. En este caso se utilizó la cartografía generada y validada por INEGI, pero puede ser conveniente recurrir a información con menor escala para obtener resultados más detallados y así reducir el margen de error. Bajo esta condición, los resultados pueden ser un primer acercamiento para conocer la dinámica de cambio de usos de suelo y determinar el estado del hábitat de la especie, esto servirá como referencia para la planeación referida al uso del territorio en beneficio del Águila Real.

En suma, todos los objetivos establecidos en el presente estudio fueron realizados; con toda la información generada, los respectivos análisis y las premisas mencionadas anteriormente la hipótesis es rechazada, pues no existe fragmentación de hábitat en el caso del Águila Real, aparentemente los cambios de uso de suelo no repercuten en el hábitat pero las afectaciones a esta ave son o pueden ser provocadas por otras actividades humanas no consideradas en este estudio y para comprobar la perturbación a la especie es necesario realizar censos y registros de avistamientos.

BIBLIOGRAFIA

- Banda, J.A. (2013). “Distribución potencial de la Guacamaya Verde (*Aras militar*) en el estado de Chihuahua, México: Mediante el método de máxima entropía. Cuauhtémoc, Chihuahua”. *Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*. Chihuahua, México.
- Bencomo, J.A. (2013). “Identificación de patrones de crecimiento urbano en el área de ciudad Cuauhtémoc, Chih. 2003 - 2010”. *Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*. Chihuahua, México.
- Bolívar, B. (2009). “Análisis del hábitat óptimo y modelado de nicho ecológico” *Instituto de Ecología A.C.*, Veracruz, México.
- Calixto, I. (2009). “Aplicación de modelos de nicho ecológico como instrumento para predecir la distribución potencial de algunas especies de aves en las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA’s)”. Barcelona, España.
- CONABIO. (1998). “La diversidad biológica de México: Estudio de País”. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONABIO. (2007). “*Aquila chrysaetos* (águila real) residencia permanente. Distribución potencial, escala 1:1000000”. Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México y University of Kansas, México. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/aqui_chrygw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no: 12 de Febrero del 2014]
- CONAFOR. (2012). “Suelos forestales”. Comisión Nacional Forestal, Jalisco, México.
- CONANP. (2008). “Programa de acción para la conservación de la especie” Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, pp. 10-22.
- Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Guisan, A., Hijmans, R., Huetmann, F., (2006). “Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data”. *Ecography* 29, pp. 129-151.
- Felícísimo, Á. M. (2010). “Evaluación de los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la flora y los tipos de hábitat en España”. [<http://secad.unex.es/index.php?title=MAXENT>: 25 de Septiembre del 2013]
- Fierro, C. D., (2013). “Modelado de nicho ecológico para la predicción del área de distribución actual y potencial del venado

- cola blanca (*odocileus virginialus*) en el estado de Chihuahua". *Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*. Chihuahua, México.
- Forman, R., y Wilson, E. (1995). "Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions". *Cambridge University Press*. Cambridge, United Kindgom. [http://books.google.com.mx/books?id=sSRNU_5P5nwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false: 3 de Diciembre del 2013]
- GBIF. (2013). Global Biodiversity Information Facility. Obtenido de [http://www.gbif.org/: 2 de Octubre del 2013]
- Grinnell, J. (1917). "The niche relationships of the California Thrasher". *University of California Press*. California.
- Guisan, A., Graham, C., Elith, J., & Huettmann, F. (2007). "Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size". Australia.
- Hijmans, R., Camerón, S., Parra, J., Jones, P., & Jarvis, A. (2005). "Very high resolution interpolated climate surface for global land areas". *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- INEGI. (2011). "Anuario estadístico Chihuahua". [http://www.inegi.org.mx/: 3 de Octubre del 2013]
- INE-SEMARNAT. (2006). "Especies, espacios y riesgos". *Monitoreo para la conservación de la biodiversidad*. México.
- INE-SEMARNAT. (1999). "Proyecto de protección, conservación y recuperación del águila real". p 47.
- Isaacs, P.J., (2011). "Modelo de conectividad espacial empleando sistemas de información geográfica, calidad de hábitat y distribución caso tapir de montaña (*Tapirus pinchaque*) en el eje cafetero colombiano". Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Martín, B. (2006). "Estudio sobre la fragmentación de los hábitats de la red natura 2000 afectados por el PEIT (Plan estratégico de infraestructuras y transporte)". Madrid, España.
- Martínez, N. (2010). "Modelación de nicho ecológico". *Laboratorio de evolución molecular y experimental del Instituto de Ecología de la UNAM*, México.
- Mendoza, M.E. y Tapia G. (2010) "Situación demográfica de México 1910-2010" *Fondo de las Naciones Unidas*. [http://www.unfpa.org.mx/publicaciones/cuadro_4.pdf: 29 de Abril del 2014]
- Meza, R., Martínez, J.G. (2004) "Características ambientales y áreas potenciales para cultivos en el municipio de la paz, B.C.S." *Centro de Investigación Regional del Noroeste*, Baja California, México.
- Phillips, S., y Dudik, M. (2008). "Modeling of species distributions with MaxEnt. New extensions and a comprehensive evaluation". *Echography*, pp.161-175.
- Phillips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). "Maximum entropy modeling of species geographic distributions". *Ecological Modelling*, pp.231-259.
- Phillips, S., Dudik, M., y Schapire, R. (2004). "Un método de máxima entropía para el modelado de distribución de las especies" *Actas de la XXI Conferencia Internacional sobre Aprendizaje Automático*, pp. 655-662.
- Rodríguez, J. (2004). "Análisis del paisaje y fragmentación de hábitat en territorios de Halcón Aplomado (*Falco femoralis septentrionalis*) en Chihuahua, México". Chihuahua, México.
- Santana, G., Pineda, N.B. (2011) "Descripción del cambio de uso y cobertura de suelo de los bosques primarios del estado de México, durante 1976-2000" Facultad de Geografía, UNAM
- SEMARNAT. (2008). "Programa de acción para la conservación de la especie. *Aquila chrysaetos*". México.
- SEMARNAT. (2011). "Temas sobre conservación de vertebrados silvestres en México" D.F., México, pp. 9-15.

SEMARNAT. (2012). “Proyecto de recuperación de las poblaciones de águila real (*Aquila chrysaetos canadensis*) y su hábitat en México”. México.

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”. Girona.