

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ACTUAL POTENCIAL DEL ÁGUILA REAL (*Aquila Chrysaetos*) EN CHIHUAHUA, MÉXICO.

Gabriela PÉREZ-GALDEÁN^a, María Elena TORRES-OLAVE^a

^a Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, División Multidisciplinaria de la UACJ en Cuauhtémoc. Carretera Cuauhtémoc-Anáhuac y Calle Ejercito Nacional 5220, Col. Ejido Cuauhtémoc, CP31600 Anáhuac, Cuauhtémoc. Email: gabby.galdean@gmail.com

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 espacialmente en el estado de Chihuahua. Para ello se generó el modelo de distribución potencial basado en el algoritmo de MaxEnt, utilizando 22 envolventes ambientales y 34 registros de ocurrencia, se determinaron las variables que contribuyen mayormente en la generación del modelo y se describen los rangos con mayor probabilidad de presencia. La cartografía resultante refleja el mayor porcentaje de idoneidad en la franja septentrional del estado, específicamente en la Altiplanicie Mexicana del Noroeste donde se describen dos escenarios principalmente: Matorral-Pastizal y Bosque de coníferas cubriendo un total de 112, 495.98 Km² de superficie. El análisis de envolventes ambientales demuestran que las condiciones climáticas y topográficas preferidas por la especie son: Temperatura media anual entre 16.0 °C y 17.5 °C, la temperatura del trimestre más frío entre 8.0 °C y 8.8 °C y la precipitación media anual entre 339.17 mm y 414.25 mm. En conclusión, 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.

Palabras clave: Modelo de nicho ecológico, MaxEnt, Águila Real

ABSTRACT

The study of biodiversity has revealed that human activities have a marked influence on the decrease in the number of species and the irreversible loss of habitat. The aim of this paper is to analyze together the climatic and topographic characteristics that influence the presence of Golden Eagle to describe its ecological niche spatially in the state of Chihuahua. For this, the potential distribution model based on the MaxEnt algorithm using 22 and 34 envelopes environmental records of occurrence is generated, the variables that contribute most to the generation of the model and ranges with increased likelihood described were determined. The resulting mapping reflects the higher percentage of suitability in the northern swath of the state, specifically in the Mexican Northwest Plateau where two main scenarios are described: scrub-grassland and coniferous forest covering a total of 112, 495.98 Km². The analysis of environmental enclosures show that the climatic and topographic conditions preferred by the species are: Average annual temperature between 16.0 °C and 17.5 °C, the temperature of the coldest quarter between 8.0 °C and 8.8 °C and the annual rainfall between 339.17 and 414.25 mm. In conclusion, the areas where the ranges with increased likelihood allow specifically describe the ecological niche of the species are expressed, these areas are ideal to dwell the Golden Eagle and backup strategies and / or conservation can focus particularly on those areas.

Keywords: Ecological niche model, MaxEnt, Golden Eagle

1 INTRODUCCIÓN

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). 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). Por otra parte 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).

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

El Águila Real o Águila Dorada es de color café oscuro con tonalidades doradas en la cabeza y hombros. (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. (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). Se distribuye principalmente en zonas áridas, semiáridas y montañosas con boques templados, habita en gran proporción en desiertos y pastizales (CONANP, 2008). 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 (INE-SEMARNAT, 1999). Este fenómeno es causado principalmente

por actividades antropogénicas tales como: agricultura, ganadería extensiva, cacería y urbanización.

Para contrarrestar estas acciones la conservación de la biodiversidad requiere una visión integral de los ecosistemas y de su funcionamiento por lo que incrementar el esfuerzo para tener acceso a información más detallada, en relación al manejo de vida silvestre, es de suma importancia, (SEMARNAT, 2011); de esta manera se permite 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).

1.3 MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS

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). Si bien existen diversos algoritmos para determinar el nicho ecológico, MaxEnt se ubica entre los más conocidos y utilizados (Elith et al, 2006).

Un ejemplo de ello es el programa de acción para la conservación de la especie: águila real; generado por SEMARNAT en el 2008, sin embargo actualmente no existe un estudio que permita determinar la degradación o recuperación del hábitat frente a las actividades humanas.

2 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 espacialmente en base a dos 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.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Chihuahua se localiza en la parte central del norte del país (Figura 1). Está localizado al norte desde 25° 30" a 31° 47" latitud norte, y al oeste desde los 103° 18" hasta 109° 07" longitud oeste. Presenta una altitud que oscila desde los 1440 hasta los 3300 msnm (Fierro, 2013).

En el 40% de su territorio existe clima muy seco, localizado en las sierras y Llanuras del Norte; 33% de clima seco y semi-seco en las partes bajas de la Sierra Madre Occidental y en el 24% Templado subhúmedo. (INEGI 2011).

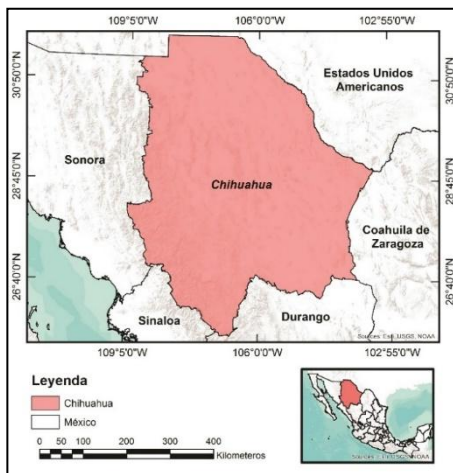


Figura 1. Localización del área de estudio.

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).

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).

3.2 MODELACIÓN DE NICHOS ECOLÓGICOS

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 2); estas fueron obtenidas de la base de datos de acceso libre Global Biodiversity Information Facility, GBIF (<http://www.gbif.org/occurrence>)(GBIF, 2013).

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 (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 Dudík, Phillips y Schapire (2004) integrando los dos parámetros anteriores (Tabla 1).

Se determinó el tipo de salida logístico donde los valores fluctúan entre 0 y 1, 0 indica incompatibilidad y 1 muestra idoneidad (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).

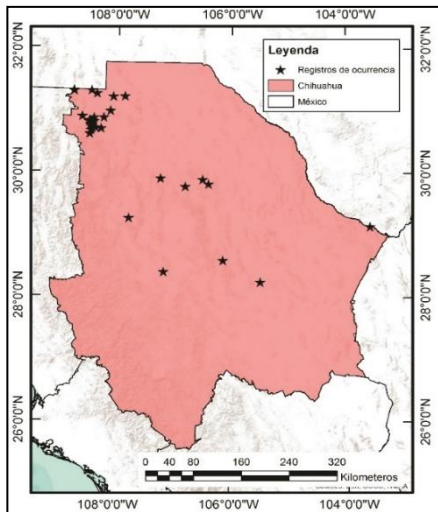


Figura 2. Datos de presencia del Águila Real en Chihuahua.

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. 3) Las curvas de respuesta son gráficos donde se muestra cómo afecta cada envolvente 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).

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).

3.3 CAPAS CLIMÁTICAS

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 y a través de las curvas de respuesta se obtuvieron los rangos específicos de mayor posibilidad de presencia de la especie. Con esta información se reclasificaron los tres envolventes ambientales más importantes y se mostraron las zonas de mayor idoneidad dentro del nicho ecológico generado anteriormente.

Tabla 1. Envolventes ambientales

ID	CAPA 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
SLOPE	Tasa de cambio máximo de la altura

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MODELACIÓN DE NICHOS ECOLÓGICOS

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, con ellas se generó el mapa de idoneidad del nicho.

La cartografía resultante se denomina mapa consenso (Figura 3) y representa la idoneidad de nicho ecológico para la especie, es decir la región con las condiciones ambientales óptimas.

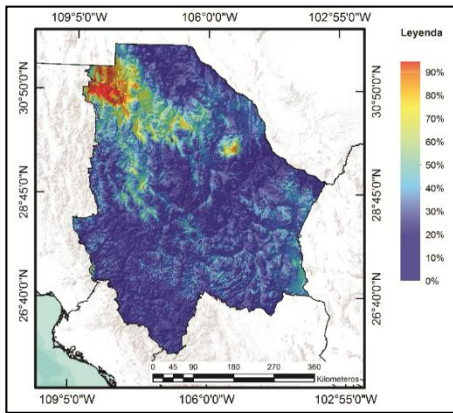


Figura 3. Mapa de idoneidad de Águila Real en Chihuahua

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. 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 4) 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.

Los gráficos de las curvas de respuesta 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 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.

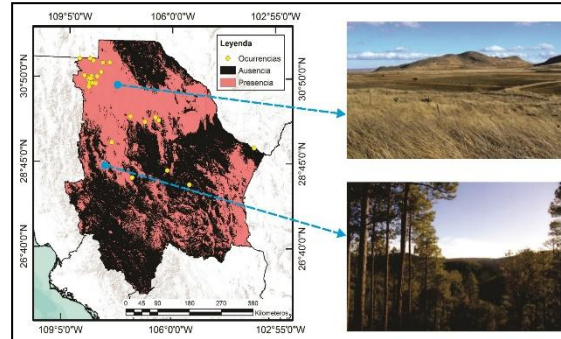


Figura 4. Mapa dicotómico del Águila Real en Chihuahua.

4.2 ENVOLVENTES AMBIENTALES

Los resultados permiten definir concretamente las condiciones climáticas y topográficas preferidas por la especie. Éstos pueden ser descritos para cada uno de los envoltentes ambientales seleccionados pero para efectos de representatividad se muestran las tres más importantes (Figura 5) ya que explican el modelo en un 60%. Estas son: Temperatura media anual, Temperatura media del trimestre más frío y Precipitación anual.

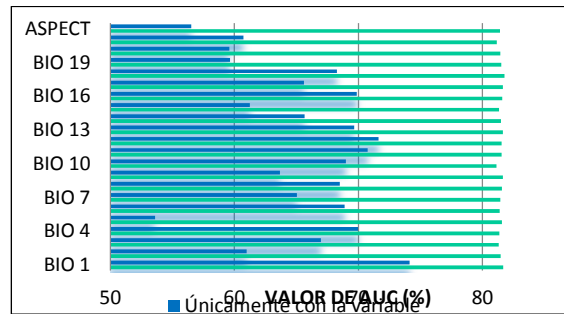


Figura 5. Grafica de Jackknife para AUC

5 CONCLUSIONES

El modelaje de nicho ecológico mediante MaxEnt es un primer acercamiento para determinar áreas de distribución potencial, el haber incorporado envoltentes 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 envoltentes 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.

REFERENCIAS

- CONABIO. (1998). "La diversidad biológica de México: Estudio de País". Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 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., Huettmann, F., (2006). "Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data". *Ecography* 29, pp. 129-151.
- Felicísimo, 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 virginialis*) en el estado de Chihuahua". Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Chihuahua, México.
- 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.
- 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.
- Martínez, N. (2010). "Modelación de nicho ecológico". Laboratorio de evolución molecular y experimental del Instituto de Ecología de la UNAM, México.
- Phillips, S., y Dudik, M. (2008). "Modeling of species distributions with MaxEnt. New extensions and a comprehensive evaluation". *Echography*.
- Rodríguez, J. (2004). "Análisis del paisaje y fragmentación de hábitat en territorios de Halcón Aplomado (*Falco femoralis septentrionalis*) en Chihuahua, México". Chihuahua, México.
- 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.