Modelos de favorabilidad del Águila Imperial - Aquila adalberti

Jesús Jiménez López

Tabla de contenidos

# ÁGUILA IMPERIAL (Aquila adalberti) - LA ESPECIE EN EXTREMADURA

## Distribución espacial de la especie en Extremadura

### Introducción

Para evaluar el estado de conservación de una especie y proponer medidas efectivas para la mejora de sus poblaciones mediante la gestión y manejo de su hábitat, es necesario no solo conocer la distribución de la especie sino también los factores ambientales, geográficos y bióticos que influyen en la localización de sus puntos de nidificación, cría, alimentación, etc. El análisis de estos factores conduce a los modelos de distribución de especies, que hoy día son ampliamente utilizados (Barbosa et al., 2013) en ecología, conservación y gestión de la propia especie (Jiménez-Valverde y Lobo, 2007). Estos modelos atienden a la necesidad de conocer las razones por las cuales un evento (presencia de la especie) se da en un punto determinado y la probabilidad que hay que tal situación se de en cualquier punto de su supuesta área potencial de distribución (Real et al., 2006).

Estos modelos pueden desarrollarse mediante herramientas muy diversas que lo que aportan es una probabilidad, pero existen algunas diferencias entre ellas. En el caso de los derivados directamente de una clasificación mediante una regresión logística, se produce un sesgo hacia el evento más abundante en la muestra (presencia o ausencia de la especie) (Real et al., 2006) y tal circunstancia es independiente del modelo (Hosmer y Lemeshow, 1989; Rojas et al., 2001). Por lo tanto, si la proporción en el territorio estudiado de presencias y ausencias no es uniforme, la probabilidad de presencia de la especie en un punto dado reflejará esta desigualdad, ya que el modelo sesgará esta probabilidad hacia el evento más abundante (Real et al., 2006). Para solucionar algunos de los problemas planteados por la desigual frecuencia de presencias/ausencias en los estudios de distribución de especies, Real et al. (2006) proponen la función de favorabilidad, que proporciona valores conmensurables independientemente de cual sea la proporción de presencias/ausencias en nuestros datos. En este caso, la favorabilidad mide el grado en que las condiciones locales permiten una probabilidad local mayor o menor que la esperada por azar (esta probabilidad al azar se define como la prevalencia total del evento, Acevedo y Real 2012).

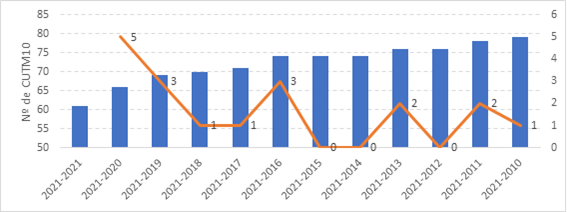
Por ello en el presente apartado se pretende acometer el modelo de distribución del águila imperial mediante la metodología propuesta por (Real et al., 2006), que ha sido ampliamente utilizada en numerosos estudios (Acevedo et al., 2011; Castro et al., 2008; Muñoz et al., 2005; Pulido et al., 2018; Romero et al., 2019). El análisis de la función de favorabilidad en Extremadura se ha realizado en relación directa a los factores antrópicos, físicos, climáticos, del uso del suelo, de paisaje y de vegetación.

### Metodología

#### *Obtención y descripción de los datos y variables utilizadas*

Los datos de distribución del águila imperial (en adelante AQUADA por abreviación de su nombre científico), provienen de los censos anuales de la Dirección General de Medio Ambiente de la Junta de Extremadura para los años comprendidos entre 2005 y 2019, donde se localizan puntualmente los nidos de esta especie y se realiza un seguimiento de su éxito reproductor. Para llevar a cabo el cálculo de la favorabilidad en estos territorios, se han establecido cuadrículas UTM de 10 kilómetros (CUTM10) de lado que han tenido al menos una presencia de la especie reproductora (pareja segura, pareja probable y territorio ocupado) para cada año. El tamaño de cuadrícula seleccionado, ya ha sido utilizado con anterioridad en otros estudios previos de rapaces (Carrete et al., 2000; Muñoz et al., 2005; Tapia et al., 2007; De Vittorio et al., 2012).

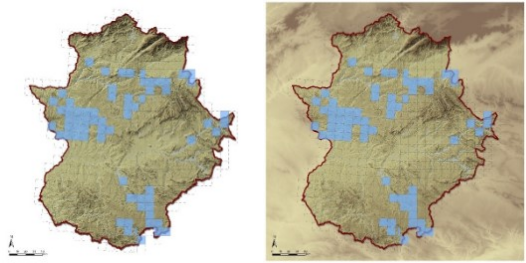
Analizando la frecuencia acumulada de la presencia de AQUADA en estas cuadrículas (Figura 1) se ha observado que tras los tres primeros periodos, su número se estabiliza con incrementos muy inferiores a los alcanzados en primer lugar. Este hecho, estableció la utilización del periodo (2017-2019) como indicador de la localización espacial actual del águila imperial en Extremadura, acumulando este periodo el 85% del total del área de presencia de la especie en los últimos 10 años. Optimizando de esta manera el mayor número de CUTM10 con el menor número de años, evitando así la inclusión de territorios abandonados por la especie que no sean representativos para su distribución espacial actual.



Número de cuadrículas UTM de 10 km de lado con presencia de la especie AQUADA por periodos acumulativos (azul) y su incremento respecto al periodo anterior (naranja).

Finalmente se han obtenido 131 cuadrículas UTM de 10 kilómetros de lado con presencia de CICNIG, de un total de 516 cuadrículas que incluye Extremadura, es decir, el 25.4% del territorio extremeño (Figura 2).

Los distintos factores que potencialmente pueden influir en la presencia de la especie quedan definidos por distintas variables explicativas. La misma malla de cuadrículas UTM utilizada para definir las presencias y ausencias de CICNIG, ha sido utilizada para extraer los valores de las diferentes variables, obtenidas de múltiples fuentes (Anexo 1) y clasificadas en las siguientes tipologías: variables topográficas, espaciales, climáticas y antrópicas, así como variables del uso del suelo, del paisaje, la vegetación y relacionadas con la caza y la ganadería. Todas las variables, cuya resolución espacial mínima es de al menos 1 km y máxima de 2,5 metros en el mejor de los casos, se han homogeneizado, transformando todos los datos ráster a una resolución de 25 metros de lado y recortándose por los límites de la Comunidad Autónoma de Extremadura. Esta resolución también ha sido tomada para la transformación de los datos de distancias y densidades provenientes de capas vectoriales.



Presencia de la especie AQUADA (azul) en la malla de cuadrículas UTM de 10 km de lado.

#### *Análisis de los datos*

Se han calculado para todas las variables los datos medios por cuadrículas UTM de 10 kilómetros de lado mediante las herramientas de estadística zonal del software ArcGIS 10.1, salvo los datos de porcentaje de usos del suelo que han sido calculados mediante la intersección de las capas vectoriales de las cuadrículas UTM y la cartografía del Corine Land Cover, utilizándose para ello el mismo software. Los cálculos y tratamientos estadísticos de estos datos se han realizado con el software R versión 4.2.0, mediante RStudio versión 2021.09.2, y los paquetes ‘terra’ (para creación de mapas), ‘fuzzySim’ (para la selección de variables, el cálculo de la favorabilidad y de su variación en el tiempo), ‘aod’ (para el cálculo del test de Wald y otros estadísticos asociados a los modelos) y ‘modEvA’ (para la evaluación de los modelos y partición de la variación).

Inicialmente se ha realizado un análisis para crear un subconjunto de variables predictivas significativas mediante un análisis de regresión logística binaria de la presencia/ausencia de la especie respecto a cada una de las 91 variables disponibles (Muñoz y Real, 2006), obteniendo la significancia individual de cada variable dentro del modelo y seleccionando el conjunto de variables significativas bajo una Tasa de Descubrimiento Falso (FDR, siglas del inglés False Discovery Rate) (Benjamini y Hochberg, 1995) de q<0,05 (Benjamini y Yekutieli, 2001), para evitar el aumento de hallazgos falsos cuando se analiza un gran número de variables debido al aumento del error de Tipo I, recomendado por García (2003) en investigaciones de procesos ecológicos.

Las variables seleccionadas mediante la técnica anterior se han utilizado de nuevo como variables independientes en un análisis de regresión logística binaria por pasos hacia adelante condicional, con la relación de presencias y ausencias de AQUADA como variable dependiente, manteniendo un umbral de significación de 0,05 para la inclusión de cada variable en el modelo y de 0,10 para su eliminación (Acevedo et al., 2011). Con él, se han obtenido las variables finales del modelo, estableciendo para cada una de ellas su peso en la ecuación (), el error típico (E.T.), su importancia en el modelo (Wald), su significación estadística (Sig.) y la estimación de los Odd Ratio (Exp(B)) (Real et al., 2006). De igual manera, se han obtenido los valores de probabilidad total de presencia de la especie para cada cuadrícula UTM, calculados según la función:

Donde *P* es la probabilidad de presencia de la especie, *e* es la base del logaritmo neperiano, e *y* es una combinación lineal de variables seleccionadas, obtenida mediante la siguiente fórmula:

Donde es una constante, las variables que actúan como predictores espaciales, sus respectivos coeficientes de peso en el modelo.

Los valores de probabilidad que resultan de la regresión logística no dependen sólo de las variables predictivas, sino también de la probabilidad al azar derivada de la proporción de presencias en el área de estudio que puede producir un sesgo importante hacia el evento más abundante en la muestra. Por ello, se ha aplicado la función de favorabilidad (Real et al., 2006) que tiene en cuenta la proporción de ausencias y presencias estudiadas, y proporciona valores conmensurables independientes de estas:

Donde *F* es la favorabilidad, el número de presencias, el número de ausencias y proveniente de los cálculos de probabilidad comentados con anterioridad.

De esta manera, la favorabilidad resultante presenta la ventaja respecto de la probabilidad de proporcionar un resultado independiente de la prevalencia (Acevedo y Real, 2012) y el valor de la favorabilidad responde únicamente al conjunto de variables utilizadas para construir el modelo, indicando el grado que esos factores favorecen (1) o desfavorecen (0) la presencia de la especie.

Para conocer la respuesta espacial de los resultados, se pueden visualizar de diferentes formas según se establezcan el número de clases y los puntos de corte de las mismas. Para una primera visualización, se ha optado por la definición de 10 clases (pasos regulares de 0,1). Para una segunda visualización, se han definido 3 categorías: zonas desfavorables (<0,2), cuya relación de probabilidades medias es 4:1; zonas de favorabilidad intermedia (0,2 – 0,8) y zonas favorables (>0,8), donde las probabilidades medias son menores que 1:4 (Castro et al., 2008).

Para conocer estadística y espacialmente la importancia de las variables que entran en cada uno de los pasos de la regresión del modelo, se ha establecido la favorabilidad para cada uno de estos pasos, comparándola con el total mediante una correlación de Pearson (Muñoz et al.,2005).

Las variables incluidas del modelo de favorabilidad pertenecientes a distintas tipologías (climáticas, topográficas, de usos del suelo, paisaje, vegetación, etc.) pueden ser agrupadas en factores ambientales bióticos y abióticos, así como factores en los que interviene directamente la mano del hombre (antrópicos). Para conocer el peso o porcentaje que explica cada factor dentro del modelo de favorabilidad, se ha llevado a cabo un procedimiento de partición de la variación (Legendre y Legendre, 1998), realizando una regresión logística para cada grupo de variables agrupados por factores, y las combinaciones de las variables de estos tres factores entre sí, comparándolos con el modelo final de AQUADA mediante una correlación de Pearson, cuya inversa al cuadrado () en tantos por uno explica la importancia de cada factor en el modelo.

La favorabilidad no solo puede llegar a ser un indicativo de la distribución potencial de la especie sino también de la abundancia de parejas reproductoras que puede albergar una cuadrícula UTM de 10 km de lado, por ello se ha relacionado el número de nidos presentes en cada cuadrícula para el periodo de estudio (2017-2019) con los resultados de favorabilidad mediante una correlación de Pearson (Acevedo et al., 2011).

Una especie puede disponer en un mismo territorio de zonas fuente donde la presencia de individuos en zonas de hábitat adecuado hace que la natalidad sea mayor que la mortalidad y esto facilite la propagación de individuos a otros territorios o, por el contrario, existir zonas sumidero donde predomine la mortalidad frente a la natalidad y reciba individuos de las zonas anteriores (Pulido et al., 2018). Para conocer la existencia de estas zonas en la Comunidad Autónoma de Extremadura se han establecido por cuadrículas UTM las zonas con alta favorabilidad (>0,8) con presencia de la especie, como zonas fuente; y las zonas con baja favorabilidad (<0,2) con presencia de la misma, como zonas sumidero.

#### *Evaluación del modelo*

Como primer paso para la evaluación del modelo resultante, se ha obtenido la bondad de ajuste del modelo Hosmer y Lemeshow (HyL), donde se evalúa su ajuste global (Hosmer y Lemeshow, 1989), especialmente para los modelos con covariables continuas y los estudios con tamaños de muestra pequeños como es el caso de AQUADA, siendo 1 si el ajuste de la probabilidad predicha se ajusta a la variable y buscando que no haya una significación (p>0,05) de las diferencias esperadas de probabilidad respecto de las observadas mediante una prueba chi‐cuadrado. En segundo lugar, se ha calculado el área bajo la curva (AUC), siendo la capacidad para clasificar correctamente los resultados cuanto más alto sea este valor (AUC→1), considerándose resultados inadecuados los cercanos a 0,5 (Fielding y Bell, 1997). Por último, mediante una matriz de confusión, se han evaluado los resultados de favorabilidad de la especie en cada una de las cuadrículas UTM, estableciendo como límite el valor de 0,5 para considerar favorable o desfavorable una cuadrícula (Anderson et al., 2003). De igual forma se han calculado la Tasa de Subestima de la Predicción (UPR, de sus siglas en inglés Under Prediction Rate), que establece la relación de zonas con presencia de la especie localizadas en cuadrículas por debajo del límite de favorabilidad previamente establecido (<0,5); y la Tasa de Sobreestima de la Predicción (OPR, de sus siglas en inglés Over Prediction Rate), que lo hace para la proporción de cuadrículas en las que no se encuentra la especie y que predicen una alta favorabilidad (Barbosa et al., 2013).

### Resultado

#### *Modelo de distribución espacial de la especie en Extremadura*

La selección del hábitat es un proceso que suele producirse de forma jerárquica, donde las características a mayor escala se seleccionan antes que las de menor (Johnson, 1980; Jones y Robertson, 2001). Se ha sugerido que estos procesos afectan a la selección de los lugares de nidificación (Orians y Wittenberger, 1991; Martínez *et al.*, 2003), ya que para que las características a menor escala sean las adecuadas, deben estar englobadas en el paisaje adecuado. El estudio de la distribución de las especies en relación con las características del paisaje puede ser de gran ayuda para construir modelos con los que mejorar estimas demográficas a gran escala, o para desarrollar una estratificación en muestreos para la investigación y seguimiento (Cowardin *et al.*, 1995; Johnson *et al.*, 2009).

Para determinar la favorabilidad del Águila imperial en la Comunidad Autónoma de Extremadura, se procedió en primer lugar a identificar aquellas variables predictoras más significativas para el conjunto de presencias y ausencias de la especie en Extremadura. Para ello se utilizó la Tasa de descubrimiento falso (FDR) que permite excluir aquellas variables con menor influencia en el modelo. Posteriormente se ajustó un modelo linear generalizado por pasos hacia adelante con las variables previamente seleccionadas. Como resultado el modelo incluyó un total de 5 variables ([Tabla 1](#tbl-coeficientes)). En 3 variables la relación ha sido positiva, y en 2 de ellas negativa. Las variables con mayor peso en el modelo (Test de Wald) han sido QUESUR, seguida de Ciervo, Conejo, DenCap18 y LongElectD.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **variables** | **β** | **ET** | **Wald** | **Sig.** | **Exp(B)** | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Quesur | 0.156 | 0.034 | 20.507 | 0.000 | 1.169 | | Ciervo | 0.072 | 0.018 | 16.264 | 0.000 | 1.075 | | Conejo | 0.026 | 0.007 | 12.223 | 0.000 | 1.026 | | DenCap | -10.285 | 3.242 | 10.063 | 0.002 | 0.000 | | LongElect | -0.300 | 0.124 | 5.863 | 0.015 | 0.741 |   Tabla 1: Variables seleccionadas en el modelo. β: coeficientes del parámetro de /la ecuación, E.T.: error típico, Wald: importancia en el modelo, Sig.: /significación estadística, Exp(B): estimación de los Odd Ratio |

Los valores de bondad de ajuste del modelo han indicado un área bajo la curva superior al 76 % (AUC = 0.76), no encontrando diferencias significativas (HyL > 0,05) entre lo observado y lo esperado en la prueba de Hosmer y Lemeshow ([Tabla 2](#tbl-metricas)). La métrica UPR sugiere la existencia de algunas zonas con presencia de la especie en cuadrículas con valores de favorabilidad bajos, mientras que la métrica OPR corrobora la existencia de zonas con una favorabilidad elevada donde la especie se encuentra actualmente ausente ([Tabla 2](#tbl-metricas)).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **AUC** | **UPR** | **OPR** | **HyL** | | --- | --- | --- | --- | | 0.764 | 0.061 | 0.703 | 0.530 |   Tabla 2: Estadísticas de bondad del modelo. AUC: Área bajo la curva, UPR: Tasa /de Subestima de la Predicción, OPR: Tasa de Sobreestima de la Predicción, HyL: /Hosmer y Lemeshow. |

A partir de la matriz de confusión ([Tabla 3](#tbl-confusion)), definida para el umbral de favorabilidad de 0.5, se observa que del total de presencias de la especie, el 31.88% se corresponden con zonas desfavorables, frente al 68.12% que se encuentran en zonas favorables. De igual forma, el 86.63 % de las cuadrículas del territorio de Extremadura son desfavorables para la especie, al no encontrarse presente la misma.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Nº CUTM10** | **Presencia** | **Ausencia** | | --- | --- | --- | | Favorable | 47 | 111 | | Desfavorable | 22 | 336 |   Tabla 3: La matriz de confusión del número de cuadrículas con presencia/ausencia en zonas favorables (> 0,5) o desfavorables (< 0,5). |

Los resultados han mostrado varios núcleos razonablemente bien delimitados de alta favorabilidad, especialmente al norte de Badajoz, incluyendo la provincia de Alburquerque , la Sierra de San Pedro y zonas cercanas al embalse de Alcántara. En el cuadrante noroccidental destaca las sierras de Monfragüe y hacia el sur ciertos núcleos aislados cercanos al embalse de Cijara . También se obtienen zonas de alta favorabilidad en las estribaciones de Sierra Morena y en una franja que se extiende a lo largo de cota superior de la comarca de la Campiña, Tierra de Barros y Alange ([Figura 1](#fig-fav)). Considerando la favorabilidad clasificada en tres categorías ([Figura 1](#fig-fav)), se obtienen un total de 35 cuadrículas con zonas de alta favorabilidad para la especie (> 0,8), 399 cuadrículas de favorabilidad intermedia (0,2-0,8) y 82 cuadrículas de baja favorabilidad (< 0,2).

|  |
| --- |
| Figura 1: Resultados de favorabilidad para el águila imperial (A) 10 clases con pasos regulares de 0,1; (B) zonas desfavorables en color rojo (< 0,2), zonas intermedias en color amarillo (0,2 – 0,8) y zonas favorables en color verde (> 0,8). |

Durante el proceso de selección de variables por pasos hacia delante, el paso 4 muestra un ajuste del modelo óptimo (R2 = 0.83 ; [Figura 2](#fig-fav_inter)), de manera que la favorabilidad total del modelo final ha sido explicada por las 4 primeras variables (QUESUR, Ciervo, Conejo, DenCap18). En este paso, se han obtenido 32 cuadrículas con favorabilidad alta (> 0,8), que suponen el 91.43 % de las obtenidas en el último paso; y 64 cuadrículas con valores desfavorables (< 0,2), que conforman el 78.05 % del total.

|  |
| --- |
| Figura 2: Resultados de las correlaciones de Pearson de la favorabilidad de cada paso de la regresión con el resultado final de favorabilidad del águila imperial |

Del total de las variables seleccionadas por el modelo (5 variables), 3 han sido relacionadas con factores ambientales bióticos, 2 con factores antrópicos y 0 con factores ambientales abióticos ([Tabla 4](#tbl-baan)). En relación a la contribución a la variación total explicada por el modelo de cada uno de los factores que agrupan las variables seleccionadas, los factores abióticos tienen mayor influencia frente a los factores antrópicos (%). En conjunto, las interacciones entre factores han tenido un efecto relativamente pequeño en el modelo ([Figura 3](#fig-variance)).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Factores ambientales Bióticos** | **Factores ambientales Abióticos** | **Factores Antrópicos** | | --- | --- | --- | | QUESUR(+), Conejo(-), Ciervo(-) |  | LongElectD(+), DenCap18(+) |   Tabla 4: Variables agrupadas por factores bióticos, abióticos y antrópicos |

|  |
| --- |
| Figura 3: Partición de la varianza entre factores |

## Selección de hábitat de la especie en Extremadura

### Introducción

La palabra “hábitat” hace referencia al conjunto de factores ambientales físicos y biológicos que las especies utilizan para su supervivencia y reproducción (Block y Brennan, 1993). Mientras que el uso del hábitat se refiere al modo en el que un individuo o especie utiliza el mismo para satisfacer las necesidades de su historia vital (Hutto, 1985); la selección del hábitat se refiere al proceso jerárquico de respuestas conductuales que pueden resultar en el uso de los hábitats y que tienen efecto sobre la supervivencia y la eficacia biológica de los individuos (Hutto, 1985; Block y Brennan, 1993). Para poder establecer planes de gestión y conservación adecuados, es fundamental el estudio de esta relación entre las especies y sus hábitats (Morrison et al. 1998; Jones, 2001). El hábitat de una especie está definido por una serie de variables que deben ser cuantificadas con el objeto de ser utilizadas como variables explicativas para el desarrollo de modelos predictivos de su distribución (Donázar et al., 1993; Martínez et al., 1999; Sánchez-Zapata y Calvo, 1999; Sergio et al., 2003). En el caso de las aves rapaces, que muestran una gran selectividad respecto al hábitat (Janes, 1985); las variables del macro-hábitat (topografía, tipo de vegetación, disponibilidad de presas, presión humana, etc.) son factores importantes en la selección del hábitat de reproducción (Janes, 1985; Mosher et al., 1987; Bosakowski y Speiser, 1994; Stern, 1998; McGrady et al., 2002; Sergio et al., 2004).

### Metodología

#### *Selección de hábitat de la especie en Extremadura*

Para determinar los lugares de nidificación exactos, se han utilizado los datos de distribución de plataformas de nidificación. Para estudiar el hábitat de la especie en la comunidad se han creado “buffers” para cada una de las ubicaciones seleccionadas, de un radio de 2,5 km. ~~El radio se ha estimado con base en datos de estudios previos de seguimiento de ejemplares marcados con transmisores GPS (Martínez-Miranzo et al., 2016; Perona et al., 2019); tomando como dato base la superficie que englobaría el área de uso activo, donde los individuos pasan la mayoría del tiempo, realizando actividades de alimentación o de descanso (Densidad de Kernel del 75 %; Bosch et al., 2010; Martínez-Miranzo et al., 2016; Perona et al., 2019).~~ El buffer de 2.500 m se ha aplicado a todas aquellas ubicaciones de plataforma/nido que fueron utilizadas (PS, PP) u ocupadas (TO) por parejas en el periodo 2017-2019. Para aquellas parejas que ocuparon más de una plataforma durante este periodo, pero que se entiende que hacen uso año tras año de los mismos recursos de su territorio (Bosch et al., 2010), se ha obtenido el valor promedio de las coordenadas UTM de las plataformas utilizadas (Figura 25.A). En el caso de los territorios ocupados (TO) se ha utilizado el valor promedio de las coordenadas de todas las plataformas existentes en su territorio, con el fin de no aumentar el peso en el modelo de las parejas con más de una plataforma (Tabla 11). Los estudios de selección de hábitat requieren de la comparación de las áreas de presencia de la especie con una selección de áreas aleatorias (ausencias) repartidas por toda el área de estudio, en proporción 1:2 (Morán-López et al., 2006). Para establecer las localizaciones de ausencia de la especie, se han creado 212 puntos aleatorios y su respectiva área buffer de 2.500 m (Figura 25.B), separados una distancia mínima de 5.000 m entre ellos, evitando la localización de su centroide en los grandes embales de Extremadura y no pudiendo ser sus áreas coincidentes con ningún área de nidificación existente.

La selección del hábitat de la especie puede estar influenciada por distintos factores, definidos por una serie de variables explicativas (Anexo 1). Se han calculado para una selección de dichas variables explicativas los datos medios por hábitat circular de 2.500 m de radio, mediante las herramientas de estadística zonal de *ArcGis 10.1*. Los cálculos y tratamientos estadísticos de estos datos se han realizado mediante el software estadístico R.

El resto del proceso para obtener el modelo final de la selección del hábitat de la especie en la comunidad, junto a su favorabilidad, se ha realizado conforme a la metodología explicada en el apartado para el estudio del modelo de distribución (Ver apartado *1.2.4. Modelo de distribución espacial de la especie en Extremadura*).

### Resultados

En el caso del estudio del hábitat del águila imperial en Extremadura, la técnica FDR ha incluido dim(habitat\_fdr$select)[1] variables significativas de un total de 38 disponibles. Las variables seleccionadas se han incluido en el modelo de regresión logística por pasos hacia adelante ( 14 pasos), estableciendo un total de 8 variables explicativas ([Tabla 5](#tbl-habitat_coeficientes)) estadísticamente significativas (p <= 0,05). Los valores de bondad de ajuste del modelo han indicado que no han existido diferencias significativas (HyL > 0,05) entre lo observado y lo esperado en la prueba de Hosmer y Lemeshow (HyL = 0.639).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **variables** | **β** | **ET** | **Wald** | **Sig.** | **Exp(B)** | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | DenCap | -11.739 | 3.351 | 12.274 | 0.000 | 0.000 | | Quesur | 0.138 | 0.047 | 8.746 | 0.003 | 1.148 | | Bosq | 0.077 | 0.019 | 17.371 | 0.000 | 1.080 | | Pspr | -0.008 | 0.003 | 8.779 | 0.003 | 0.992 | | Pene | 0.025 | 0.008 | 10.897 | 0.001 | 1.025 | | Granitos | -0.040 | 0.016 | 5.950 | 0.015 | 0.961 | | Pwin | -0.011 | 0.003 | 10.838 | 0.001 | 0.989 | | Paut | 0.008 | 0.003 | 6.870 | 0.009 | 1.008 |   Tabla 5: Variables en el último paso de la regresión logística (Paso 4), ordenadas por su inclusión en el modelo. β: coeficientes del parámetro de la ecuación, E.T: error típico, Wald: importancia en el modelo, Sig.: significación estadística, Exp(B): estimación de los Odd Ratio |

4 de 8 variables presentan valores negativos en los coeficientes, mientras que el resto ejercen una influencia positiva en la selección del hábitat. Entre las variables que han sido seleccionadas destaca el porcentaje de bosque (Bosq) como la variable con mayor peso en el modelo, seguida por la precipitación tanto en el mes de Enero como en todo el invierno (Pene, Pwin). Por el contrario la presencia de granito tiene una influencia menor, si bien se mantiene en el modelo como variable significativa (p < 0.5).

Los resultados de favorabilidad del hábitat de las localizaciones de las parejas activas ([Figura 5](#fig-habitat_barplot3)), han mostrado que el 39.13% se localizan en el rango más alto de favorabilidad, encontrando tan solo 1 pareja en la categoría de hábitat más desfavorable.

|  |
| --- |
| Figura 4: Frecuencias del número de localizaciones de territorios regentados (PS+PP+TO) (n = 83) del águila imperial en 10 clases con pasos regulares de 0,1. |

Teniendo en cuenta las zonas con alta favorabilidad (>0,8) y las zonas con baja favorabilidad (<0,2) ([Figura 5](#fig-habitat_barplot3)), se puede observar como el 53.62 % de las plataformas activas se encuentran en zonas de alta favorabilidad, mientras que el 5.8 % de las localizaciones (4) presentan una favorabilidad baja. El 40.58 % restante corresponde al número de plataformas activas (28 plataformas) que tienen una favorabilidad del área de nidificación intermedia.

|  |
| --- |
| Figura 5: Frecuencias del número de localizaciones de territorios regentados (PS+PP+TO) (n = 83) del águila imperial en 3 clases con pasos regulares de 0,1. |

## Selección del lugar de nidificación

### Introducción

### Metodología

La selección del lugar de nidificación del águila imperial se ha determinado mediante buffers de 500 m de radio alrededor de las localizaciones geográficas de las plataformas de cada una de las parejas. Dicha medida se basa en la utilización de cuadrículas 1 x 1 km UTM en estudios previos de selección del lugar de nidificación en rapaces (López-López *et al.*, 2006; López-López *et al.*, 2007c). El buffer de 500 m se ha aplicado a la ubicación de aquellas plataformas utilizadas (PS, PP) en el periodo 2019-2021 ([Figura 6](#fig-plataforma)), que suman un total de 83 plataformas.

|  |
| --- |
| Figura 6 |

Los estudios de selección de hábitat requieren la comparación de las áreas de presencia de la especie con una selección de áreas aleatorias (ausencias) repartidas por toda el área de estudio, en proporción 1:2 (Morán-López et al., 2006). Para establecer las localizaciones de ausencia de la especie se han creado 166 puntos aleatorios y su respectiva área buffer de 500 m (Figura 34.B), separados una distancia mínima de 5.000 m entre ellos, evitando la localización de su centroide en los grandes embalses y zonas urbanas de Extremadura y no pudiendo ser sus áreas coincidentes con ningún área de nidificación existente a menos de 5 km. ([Figura 6](#fig-plataforma)).

La selección del lugar de nidificación de la especie puede estar influenciada por distintos factores, definidos por una serie de variables explicativas (Anexo 1). Se han calculado para todas las variables los datos medios por hábitat circular de 500 m de lado, mediante las herramientas de estadística zonal del ArcGIS 10.1. Los cálculos y tratamientos estadísticos de estos datos se realizaron mediante el software R.

El resto del proceso para obtener el modelo final de la selección del hábitat de la especie en la comunidad, junto a su favorabilidad, se ha realizado conforme a la metodología explicada en el apartado para el estudio del modelo de distribución (Ver apartado *1.2.4. Modelo de distribución espacial de la especie en Extremadura*).

#### *Nidotropía*

Para definir la nidotópica del águila imperial se han utilizado los valores de las variables referentes a la orientación, altitud y pendiente (obtenidas del MDT25; Anexo I); así como de la litología (SITEX, 2021) y sustrato de nidificación (observaciones durante el censo de la especie) procedentes de cada una de las localizaciones de la especie (Figura 34.A).

Para analizar la preferencia en la orientación de los nidos, se han utilizado medidas de estadística circular, obtenidas a través del paquete *VecStatGraphs2D* del software R (Rodríguez *et al*., 2014) y calculando el Test de Rayleigh para establecer la significación en los resultados (Pérez-Bote, 2020).

Para constatar la selección activa de lugares de nidificación de determinada pendiente y altitud, se han comparado los valores obtenidos en las localizaciones de la especie (Figura 34.A) con los valores de las localizaciones aleatorias (Figura 34. B), utilizando como método estadístico la t de Student.

### Resultados

#### *Selección del lugar de nidificación*

En el estudio de la selección del lugar de nidificación del águila imperial en Extremadura, la técnica FDR ha mostrado un resultado de 17 variables significativas de un total de 31 variables disponibles, las cuales han sido incluidas en el modelo de regresión logística por pasos hacia adelante( número de pasos= )). El modelo final incluye 4 variables explicativas ([Tabla 6](#tbl-nest_coeficientes)) con valores de significancia por debajo de 0.05. Los valores de bondad del modelo han indicado la existencia de diferencias significativas (HyL > 0,05) entre lo observado y lo esperado, de acuerdo a la prueba de Hosmer y Lemeshow (HyL = 4.5185175).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **variables** | **β** | **ET** | **Wald** | **Sig.** | **Exp(B)** | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | QUESUR | 0.098 | 0.022 | 20.607 | 0.000 | 1.103 | | EUCSPP | 0.118 | 0.049 | 5.815 | 0.016 | 1.125 | | PINO | 0.062 | 0.024 | 6.719 | 0.010 | 1.064 | | Granitos | -0.025 | 0.010 | 5.617 | 0.018 | 0.976 |   Tabla 6: Variables en el último paso de la regresión logística (Paso 4), ordenadas por su inclusión en el modelo. β: coeficientes del parámetro de la ecuación, E.T: error típico, Wald: importancia en el modelo, Sig.: significación estadística, Exp(B): estimación de los Odd Ratio |

Los resultados de favorabilidad del área de nidificación de las parejas activas ([Figura 7](#fig-nest_barplot10)), muestran como el 21.69 % de estas localizaciones están en el rango más alto de favorabilidad, encontrando 0 plataformas en la categoría más desfavorable.

|  |
| --- |
| Figura 7: Frecuencias del número de plataformas activas (n = 83) del águila imperial durante el periodo 2019-2021 en 10 clases con pasos regulares de 0,1. |

Teniendo en cuenta las zonas con alta favorabilidad (>0,8) y las zonas con baja favorabilidad (<0,2) ([Figura 8](#fig-nest_barplot3)), se puede observar como el 34.94 % de las plataformas activas se encuentran en zonas de alta favorabilidad, mientras que el 0 % de las localizaciones (0) presentan una favorabilidad baja. El 65.06 % restante corresponde al número de plataformas activas (54 plataformas) que tienen una favorabilidad del área de nidificación intermedia.

|  |
| --- |
| Figura 8: Frecuencias del número de plataformas activas (n = 83) del águila imperial durante el periodo 2019-2021 en 3 clases. |

## Escenarios futuros y cambio climático

### Introducción

La influencia humana ha producido un calentamiento generalizado de la Tierra, causando un cambio climático, resultando ser una de las principales amenazas para la biodiversidad, puesto que está provocando efectos perjudiciales más rápido de lo previsto (Bellard et al. 2012, Xu et al. 2018). De hecho, a causa de ello, los científicos esperan impactos acumulativos negativos en la naturaleza (Ceballos et al. 2017, Spooner et al. 2018). La capacidad de la vida silvestre para reaccionar ante el cambio climático dependerá del nivel y tipo de perturbación que experimenten los organismos, y también de su capacidad intrínseca para responder a ellos (Parmesan, 2006; Johnston et al., 2019).

El sexto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021a), proporciona una mejor comprensión de la influencia humana en el clima gracias a nuevas simulaciones de modelos climáticos, análisis y métodos que combinan varias líneas de evidencia científica. Al igual que los informes previos, se presentan una serie de escenarios —cinco en total—, que representan un rango de evolución futura de impulsores antropogénicos del cambio climático. Cada uno de estos escenarios se denomina SSPx-y, donde SSPx se refiere a la trayectoria socioeconómica compartida (Shared Social-economic Pathaway), e y se refiere al nivel aproximado de fuerza radiativa (W/m2) en el año 2100. Los niveles de emisión de distintos gases varían entre los escenarios según los supuestos socioeconómicos, los niveles de mitigación del cambio climático y los controles sobre la contaminación del aire debida a los aerosoles y precursores de ozono distintos del metano. Los escenarios, que comenzarían en el año 2015, serían los siguientes: SSP1-1.9 y SSP1-2.6, donde las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y de CO2 serían muy bajas, reduciéndose a cero cerca de 2050, seguidas posteriormente de emisiones netas negativas de CO2; SSP2-4.5, con emisiones de GEI intermedias y de CO2 que se mantienen en torno a los niveles actuales hasta mediados de siglo; y SSP3-7.0 y SSP5-8.5, con altas emisiones de GEI, y emisiones de CO2 que se duplican con respecto a los niveles actuales para 2100 y 2050, respectivamente (IPCC, 2021a). Comparando con los registros de 1850-1900, es muy probable que la temperatura global promedio en 2081-2100 aumente entre 1,0 y 1,8 ˚C en escenarios de bajas emisiones de GEI (SSP1-1.9); entre 2,1 ˚C y 3,5 ˚C en escenarios de emisiones de GEI intermedias (SSP2-4.5); y entre 3,3 ˚C y 5,7 ˚C bajo el escenario de altas emisiones de GEI (SSP5-8.5) (IPCC, 2021a; @cambio\_global).

|  |
| --- |
| Figura 9: Cambio en la temperatura global de la superficie en relación a 1850-1900. Fuente: IPCC (2021a). |

El cambio climático supone una gran amenaza, especialmente para España, que por su pertenencia al Mediterráneo se encuentra en una de las zonas más vulnerables ante tal fenómeno (IPCC, 2021b). Por ello las estrategias de adaptación son necesarias para evitar o reducir sus impactos potenciales y para favorecer la recuperación tras los daños que produce. Por ello, en 2006 el Ministerio de Medio Ambiente publicó el primer Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2006-2020 (PNACC) (MIMAM, 2006), actualizado recientemente por el PNACC 2021-2030 (MITECO, 2020). Desde 2006, el PNACC ha constituido el marco de referencia para las administraciones públicas en la generación de conocimiento y construcción de respuestas adaptativas frente al cambio climático en España, con el objetivo principal de evitar o reducir los daños presentes y futuros derivados del cambio climático y construir una economía y sociedad más resilientes. Para ello, define una serie de objetivos, criterios, ámbitos de trabajo y líneas de acción. En el último PNACC (MITECO, 2020), las distintas líneas de acción se encuadran en hasta 18 ámbitos de trabajo. En el ámbito del patrimonio natural, biodiversidad y áreas protegidas, se encontrarían un total de cinco líneas de acción, siendo una de las más interesantes en este contexto la Línea de Acción 4.1: Incorporación del factor cambio climático en las estrategias nacionales de conservación y en los planes de conservación y recuperación de especies amenazadas. Tal línea incide en la actualización de las estrategias y planes de especies catalogadas teniendo en cuenta el actual contexto de cambio climático, para reducir su impacto sobre ellas y aumentar su resiliencia. De igual forma, considera importante la actualización de los modelos de distribución de las especies y sus hábitats clave en base a los modelos climáticos más recientes aportados por el IPCC, para poder gestionar de forma más integral y sostenida en el tiempo la biodiversidad.

La predicción de los impactos sobre la biodiversidad —que no solo se ve afectada por la incidencia directa que las actividades antrópicas tienen sobre ella, sino también por los efectos del cambio climático—, supone un importante reto al que se enfrenta la comunidad científica. Asociados al calentamiento del planeta, las especies están viendo modificados ciertos aspectos de su biología: cambios ecológicos (Van de Pol et al., 2010; Abdul-Aziz et al., 2011; McLean et al., 2021), comportamentales (Hussell, 2003; Ventura et al., 2021), fisiológicos (Sheridan y Bickford, 2011; Lane et al., 2012; Blechschmidt et al., 2020) y genéticos (Canestrelli et al., 2017) se han observado en los últimos años en distintas especies. Sin embargo, a pesar de las adaptaciones que pueden llegar a desarrollar, cerca del 13 % de las especies que se encuentran amenazadas, lo están por fenómenos derivados del cambio climático y episodios climatológicos extremos (UICN, 2021). En el caso de las aves, un 42 % de las especies amenazadas por esta causa, se encuentran en un estado de amenaza elevado (CR, EN y VU) ([Figura 10](#fig-amenaza)).

Por lo tanto, debido a este impacto del cambio climático sobre las distintas especies —sobre todo, aquellas que presentan algún grado de amenaza—, es de vital importancia tratar de modelar sus distribuciones futuras con base a los distintos escenarios climáticos, con el objetivo de aumentar los esfuerzos de conservación en caso de que tales distribuciones se vean disminuidas. En el caso de la especie que nos atañe, el águila imperial, y conforme a la Línea de Acción 4.1 del PNACC, anteriormente citada; es necesario una revisión y actualización de las distribuciones desarrolladas con anterioridad (Araújo et al., 2011) en base a los nuevos escenarios climáticos marcados por el IPCC en el sexto informe (IPCC, 2021a), que puedan indicar algún cambio de la tendencia de la especie en nuestra región.

|  |
| --- |
| Figura 10: Porcentaje de especies de aves amenazadas a nivel mundial por el cambio climático según la categoría de amenaza de la UICN en la que se encuentran. Fuente: UICN (2021). |

### Metodología

Para determinar el efecto del cambio climático sobre el águila imperial en Extremadura se ha utilizado la metodología propuesta por Real et al. (2010) para el cálculo de la favorabilidad climática por unidades espaciales. Para ello se ha cuantificado la variación entre un escenario presente, modelado mediante el uso de datos históricos de una serie climática de los últimos años, y un conjunto de escenarios proyectados a futuro, establecidos mediante distintos escenarios temporales de circulación atmosférica o de emisiones ([Figura 11](#fig-diagrama_fav)).

|  |
| --- |
| Figura 11: Diagrama para el cálculo de la variación de favorabilidad en los distintos escenarios de cambio climático. |

#### *Presencia de la especie*

La presencia actual de la especie en Extremadura se ha establecido mediante cuadrículas UTM de 10 kilómetros de lado, obteniendo un total de 94 cuadrículas con presencia, de un total de 516, es decir, el 18,22 % del territorio extremeño (Ver metodología 1.2.4. Modelo de distribución espacial de la especie en Extremadura). Esta escala de trabajo es ampliamente utilizada para los estudios de distribución de fauna y su modelización (Araújo et al., 2011; MITECO, 2012), siendo también adecuadas estas unidades para la escala de la información ambiental.

#### *Variables ambientales abióticas*

Como principales variables abióticas se han utilizado variables topográficas, obtenidas a partir del modelo digital del terreno, procedente de la primera cobertura con paso de malla de 25 metros del Instituto Geográfico Nacional (MDT25). A partir de este modelo, se han extraído los valores por cuadrículas UTM (ver Anexo 1) de distintas variables derivadas, todas ellas utilizadas con anterioridad en modelos de distribución de especies mediante favorabilidad (Márquez et al., 2011; Chamorro et al., 2020).

#### *Variables climáticas históricas*

Muchas son las fuentes que proporcionan datos climáticos a diferentes escalas (AEMET, Atlas Climático de Extremadura, Atlas Miramon, WorldClim, Chelsa, etc.). Para el presente estudio se han elegido los datos del proyecto WorldClim (Fick y Hijmans, 2017), en su versión 2.1 (WorldClim2), que proporciona cartografía a escala global en formato espacial (Geotiff) de datos climáticos obtenidos a partir de la serie de años comprendidos entre 1970 y 2000, con un paso de malla de 30 segundos de arco en el ecuador (aproximadamente 1 km2). WorldClim2 dispone de datos mensuales de temperaturas mínimas, medias y máximas, precipitación, radiación solar, velocidad del viento y presión de vapor de agua; así como 19 variables bioclimáticas derivadas de las anteriores (Hijmans et al., 2005).

Se han seleccionado todas las variables bioclimáticas disponibles en WorldClim2 disponibles en el ANEXO 2 ([Tabla 12](#tbl-anexo2)) que han sido utilizadas previamente en estudios de distribución de especies (Cauli et al., 2021; Mccabe et al., 2021), y que a su vez, están relacionadas con factores de temperatura y precipitación, que influyen en la presencia o reproducción de la especie de interés (Parellada et al., 1984; Ontiveros y Pleguezuelos, 2003b; Muñoz et al., 2005; López-López et al., 2006).

#### *Variables climáticas futuras en escenarios de cambio climático*

Para las variables climáticas en escenarios futuros de cambio climático, se han utilizado los datos más actuales que presenta WorldClim, correspondientes al proyecto de inter-comparación de modelos de clima acoplados (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, CMIP6) (Eyring et al., 2016), cuya escala de trabajo es de 2,5 minutos de arco (Aproximadamente 5 km). Estos modelos, en comparación con sus antecesores (CMIP5), tienen una mayor sensibilidad, e incluyen nuevas y mejores representaciones de procesos químicos y biológicos.

En el CMIP6, se establecen hasta cuatro de los cinco escenarios de emisión desarrollados por el IPCC en su sexto informe (IPCC, 2021a): SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5. Para todos ellos, se han utilizado los principales modelos climáticos de circulación atmosférica global (Global Climate Models, GCM) disponibles en la base de datos de WorldClim (Figura 54), basados en leyes físicas de la atmósfera y en la parametrización de procesos, tales como: movimientos de las masas de aire, formación de la nubosidad y efectos del océano, entre otros factores. Para mantener la homogeneidad de los datos, se ha desestimado la utilización de los datos del GCM GFDL-ESM4 provenientes del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, que no están disponibles para los escenarios SSPP2-4.5 y SSP5-8.5.

|  |
| --- |
| Figura 12: Escenarios de cambio climático establecidos en la base de datos WoldClim2 acordes a los escenarios planteados en el IPPC en su sexto informe. |

Para el conjunto de los 16 escenarios temporales y de emisiones (SSP) pertenecientes a los respectivos GCM que recogen las distintas fechas y trayectorias posibles, se han calculados los valores promedios por cuadrículas UTM de 10 km.

Al igual que los datos climáticos históricos, los datos los diferentes escenarios de cambio climático han sido calibrados y regionalizados mediante WorldClim2. Estos datos presentan hasta cuatro escenarios temporales cada 20 años: 2021-2040, 2040-2060, 2061-2080, 2081-2100.

Con todo ello, teniendo en cuenta los 8 GCM, cada uno de ellos con cuatro escenarios de emisiones y cuatro escenarios temporales; se han obtenido para cada una de las 19 variables bioclimáticas, un total de 128 capas ráster de los distintos escenarios de cambio climático proyectados (Figura 54).

#### *Cálculo de favorabilidad histórica y futura*

Para determinar el efecto del cambio climático sobre el águila imperial en Extremadura se ha utilizado la metodología propuesta por Real et al. (2010) para el cálculo de la favorabilidad climática por unidades espaciales. Para ello se ha cuantificado en primer lugar la variación entre un escenario presente, modelado mediante el uso de datos históricos de una serie climática de los últimos años, y un conjunto de escenarios proyectados a futuro, establecidos mediante distintos escenarios temporales de circulación atmosférica o de emisiones. Para el conjunto de los 16 escenarios temporales y de emisiones (SSP) pertenecientes a los respectivos GCM que recogen las distintas fechas y trayectorias posibles, se han calculados los valores promedios por cuadrículas UTM de 10 km. Para ello se ha utilizado el software estadístico R.

A continuación se realizó una preselección de las variables bioclimáticas a incluir en el modelo a partir del análisis de correlación, la técnica FDR y el ajuste del modelo por pasos hacia adelante. El cálculo de favorabilidad climática del águila imperial parte de la matriz de presencias y ausencias de la especie como variable dependiente y los datos derivados de las variables climáticas históricas como variables independientes. Estos resultados se han proyectado para cada uno de los 16 escenarios de cambio climático definidos anteriormente con objeto de modelar la variación de la favorabilidad climática de la especie en el territorio. Específicamente, se ha obtenido la significancia (α) individual de cada variable dentro del modelo para crear un subconjunto de variables predictivas significativas mediante el análisis de regresión logística binaria de la presencia/ausencia de la especie respecto a cada una de las variables disponibles (Muñoz y Real, 2006). Posteriormente, para evitar la multicolinealidad entre estas variables, se ha calculado la matriz de correlación entre variables. Para cada pareja de variables con valor de correlación superior a 0.8, se ha seleccionado la variable con mayor nivel de significancia individual (α) (Chamorro *et al.*, 2020).

Los valores de la probabilidad y favorabilidad de presencia de la especie en cada una de las cuadrículas se han obtenido siguiendo la misma metodología explicada en el apartado para el estudio del modelo de distribución (Ver metodología 1.2.4.

#### *Modelo de distribución espacial de la especie en Extremadura).*

Para realizar la proyección de los datos a los distintos escenarios de cambio climático, se ha utilizado la ecuación resultante de la regresión logística por pasos hacia delante, sustituyendo los valores de las variables climáticas históricas por las futuras.

La favorabilidad futura se ha calculado posteriormente mediante la siguiente fórmula:

También es importante conocer cuál es el peso en el modelo para los factores topográficos respecto a los climáticos (Hothorn et al., 2011). Por ello, se ha realizado una partición de la variación para conocer el peso en el modelo entre estos dos factores de forma individualizada y su combinación (Real et al., 2010).

Finalmente, se ha calculado para cada periodo y sus distintos escenarios de emisiones (SSP), el porcentaje de cuadrículas pertenecientes a las diferentes categorías de favorabilidad, tanto para dos clases (< 0,5 y > 0,5), como para tres (baja favorabilidad < 0,2, favorabilidad media 0,2-0,8 y alta favorabilidad > 0,8). Siguiendo la metodología de Real et al. (2010), se han calculado una serie de operaciones de lógica difusa para cada periodo y sus distintos SSP, que ayudan a predecir el impacto del cambio climático en la favorabilidad de la especie: el índice de incremento (I), la superposición (O), el mantenimiento (M) y el cambio estimado (S). Valores positivos de I indican un incremento de las áreas favorables, mientras que los negativos, la pérdida neta de estas. Valores altos de O, cercanos a 1, indican que las distribuciones de los valores de favorabilidad futura serán similares a los actuales. M indica el grado en el cuál, valores actuales de favorabilidad persistirán en el futuro, mostrando el valor 1 el mantenimiento completo de las áreas presentes en el futuro. S indica cambios en la favorabilidad, de tal forma que mide la proporción de la favorabilidad presente que se predice que se perderá en el futuro, pero que puede ser compensado con la ganancia de favorabilidad en otras zonas. Los valores de O, M y S varían de 0 a 1. Las fórmulas de las citadas operaciones de lógica difusa se pueden consultar en Real et al. (2010) y Chamorro et al. (2020)..

### Resultados

El modelo final incluye 4 variables estadísticamente significativas ([Tabla 7](#tbl-coef_future)), siguiendo una selección en 7 pasos hacia adelante. Las 4 variables seleccionadas (4) influyen tanto negativamente como positivamente en la distribución de la especie. Además, no se han encontrado en el modelo diferencias significativas (HyL > 0,05) entre lo observado y lo esperado en la prueba de Hosmer y Lemeshow (HyL = 12.07).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Variables** | **β** | **ET** | **Wald** | **Sig.** | **Exp(B)** | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Bio14 | -2.059 | 0.562 | 13.402 | 0.000 | 0.128 | | Bio03 | -1.897 | 0.298 | 40.570 | 0.000 | 0.150 | | Bio05 | 1.345 | 0.344 | 15.300 | 0.000 | 3.838 | | Bio08 | 0.739 | 0.294 | 6.336 | 0.012 | 2.095 |   Tabla 7: Variables en el último paso de la regresión logística (Paso 3), ordenadas por su inclusión en el modelo. β: coeficientes del parámetro de la ecuación, E.T: error típico, Wald: importancia en el modelo, Sig.: significación estadística, Exp(B): estimación de los Odd Ratio. |

A partir del modelo se ha calculado la favorabilidad de la especie para los datos climáticos históricos, mostrando los resultados de la misma en dos y tres clases por cuadrículas UTM 10km de lado ([Figura 13](#fig-historical_future)). En el primer caso, un total de 203 cuadrículas UTM (39.34 %) muestran una favorabilidad mayor del 0.5 ([Figura 13](#fig-historical_future)). Respecto a la clasificación de la favorabilidad en tres clases, 28 cuadrículas (5.43 %) muestran una favorabilidad alta (> 0,8), 109 (21.12 %) una favorabilidad baja (< 0,2) y 379 cuadrículas (73.45 %) están representadas por una favorabilidad intermedia (0,2-0,8) ([Figura 13](#fig-historical_future)).

En resumen, existe un predominio de las zonas de favorabilidad intermedia en la mayor parte del territorio, mientras que las zonas de favorabilidad baja se distribuyen hacia el norte y sureste de la región. En contraposición, las zonas de favorabilidad alta se concentran en la región central, observándose áreas con valores de favorabilidad > 0.5 al sur y este de Extremadura y para el caso de la clasificación en 2 categorías.

|  |
| --- |
| Figura 13: Resultados de favorabilidad climática histórica para la especie. A) dos clases: valores de favorabilidad >0,5 (verde) y <0,5 (rojo), B) tres clases: baja favorabilidad <0,2 (rojo), favorabilidad intermedia 0,2-0,8 (amarillo) y alta favorabilidad >0,8 (verde). |

En el cómputo global de la favorabilidad para los escenarios futuros, no se aprecia una fuerte tendencia en la distribución de áreas idóneas en uno u otro sentido. Partiendo de una menor favorabilidad para la mayor parte de las combinaciones entre periodos y escenarios, se puede observa un ligero repunte en las zonas de favorabilidad alta en las áreas centrales a lo largo del tiempo y para los escenarios de mayor emisión, mientras que aumentan las zonas de favorabilidad baja en detrimento de las zonas intermedias de favorabilidad. Esta ligera polarización en el territorio se acentúa a lo largo de los periodos contemplados y para los escenarios de mayor impacto. Las zonas de favorabilidad baja aumentan especialmente en el cuadrante suroeste, manteniéndose estables en el tercio norte. Para las zonas de favorabilidad alta, se observa un desplazamiento hacia el noreste con respecto a los resultados históricos, apreciándose una cierta fragmentación en 2 núcleos bien diferenciados y manteniéndose una zona marginal al sur de la región ([Figura 14](#fig-future)). En conclusión, y teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a estos modelos, los resultados sugieren un cierto impacto negativo para la especie con respecto a la distribución actual, si bien aún se mantienen áreas de alta favorabilidad que pueden actuar como refugios en las peores previsiones climáticas ([Tabla 8](#tbl-trends_cat2)).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | **2021-2040** | | **2041-2060** | | **2061-2080** | | **2081-2100** | | **Histórico** | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | **a** | **b** | **a** | **b** | **a** | **b** | **a** | **b** | **a** | **b** | | SSP1-2,6 | 313 | 203 | 62.4 | 37.6 | 62.2 | 37.8 | 63.2 | 36.8 | 61.6 | 38.4 | | SSP2-4,5 | 63.8 | 36.2 | 61.2 | 38.8 | 63.2 | 36.8 | 62.4 | 37.6 | | SSP3-7,0 | 61.8 | 38.2 | 59.5 | 40.5 | 61.0 | 39.0 | 59.7 | 40.3 | | SSP5-8,5 | 60.9 | 39.1 | 62.0 | 38.0 | 60.1 | 39.9 | 58.1 | 41.9 |   Tabla 8: Porcentaje de cuadrículas en las distintas categorías de favorabilidad climática para cada escenario temporal y de emisión (SSP). (a: favorabilidad < 0,5; b: favorabilidad > 0,5). |

.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  | **Histórico** | | | **2021-2040** | | | **2041-2060** | | | **2061-2080** | | | **2081-2100** | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | **a** | **b** | **c** | **a** | **b** | **c** | **a** | **b** | **c** | **a** | **b** | **c** | **a** | **b** | **c** | | SSP1-2,6 | 109 | 379 | 28 | 27.7 | 70.9 | 1.4 | 27.7 | 70.9 | 1.4 | 28.5 | 69.8 | 1.7 | 28.1 | 70.5 | 1.4 | | SSP2-4,5 | 26.7 | 70.5 | 2.7 | 26.7 | 70.5 | 2.7 | 28.3 | 68.4 | 3.3 | 29.7 | 68.4 | 1.9 | | SSP3-7,0 | 27.7 | 70.7 | 1.6 | 27.7 | 70.7 | 1.6 | 28.5 | 69.4 | 2.1 | 30.0 | 66.1 | 3.9 | | SSP5-8,5 | 27.7 | 71.1 | 1.2 | 27.7 | 71.1 | 1.2 | 29.7 | 67.2 | 3.1 | 31.2 | 64.5 | 4.3 |   Tabla 9: Porcentaje de cuadrículas en las distintas categorías de favorabilidad climática para cada escenario temporal y de emisión (SSP). (a: baja favorabilidad < 0,2; b: favorabilidad media 0,2-0,8; c: alta favorabilidad > 0,8). |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **SSP/Periodos** | **2021-2040** | **2041-2060** | **2061-2080** | **2081-2100** | | --- | --- | --- | --- | --- | | 126 | ↓(75%) | ↓(75%) | ↓(68%) | ↓(75%) | | 245 | ↓(50%) | ↓(50%) | ↓(39%) | ↓(64%) | | 370 | ↓(71%) | ↓(71%) | ↓(61%) | ↓(29%) | | 585 | ↓(79%) | ↓(79%) | ↓(43%) | ↓(21%) |   Tabla 10: Resultados de la variación porcentual entre periodos temporales del número de cuadrículas de alta favorabilidad (> 0,8) en Extremadura. |

|  |
| --- |
| Figura 14: Resultados gráficos de la variación de favorabilidad total en Extremadura por escenarios temporales y de emisión (SSP). a) dos clases: valores de favorabilidad >0,5 (verde) y <0,5 (rojo), b) tres clases: baja favorabilidad <0,2 (rojo), favorabilidad intermedia 0,2-0,8 (amarillo) y alta favorabilidad >0,8 (verde). |

# ANEXO 1. RELACIÓN DE VARIABLES UTILIZADAS EN LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DEL ÁGUILA IMPERIAL A DIFERENTES ESCALAS

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **Tipología** | **Nombre** | **Descripción** | **Paisaje** | **Habitat** | **NestSite** | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | TOPOGRÁFICAS | AltMax | Altitud máxima (m) (1) | X | X | X | | TOPOGRÁFICAS | AltMin | Altitud mínima (m) (1) | X | X | X | | TOPOGRÁFICAS | AltMed | Altitud media (m) (1) | X | X | X | | TOPOGRÁFICAS | AltRan | Diferencia altitudinal (m) (1) | X | X |  | | TOPOGRÁFICAS | AlturaSup | Altura superior al nido (m) (1) |  |  | X | | TOPOGRÁFICAS | AlturaInf | Altura inferior al nido (m) (1) |  |  | X | | TOPOGRÁFICAS | Tri | Índice de rugosidad o irregularidad topográfica (1) | X | X | X | | TOPOGRÁFICAS | Slope | Pendiente media (grados) (1) | X | X | X | | TOPOGRÁFICAS | Oeste | % de orientación al oeste (180º) (1) | X |  |  | | TOPOGRÁFICAS | Sur | % de orientación al sur (180º) (1) | X |  |  | | TOPOGRÁFICAS | E | Porcentaje con orientación Este (450) (1) |  | X | X | | TOPOGRÁFICAS | N | Porcentaje con orientación Norte (450) (1) |  | X | X | | TOPOGRÁFICAS | NE | Porcentaje con orientación Noreste (45º) (1) |  | X | X | | TOPOGRÁFICAS | NW | Porcentaje con orientación Noroeste (450) (1) |  | X | X | | TOPOGRÁFICAS | S | Porcentaje con orientación Sur (450) (1) |  | X | X | | TOPOGRÁFICAS | SE | Porcentaje con orientación Sureste (450) (1) |  | X | X | | TOPOGRÁFICAS | SW | Porcentaje con orientación Suroeste (450) (1) |  | X | X | | TOPOGRÁFICAS | W | Porcentaje con orientación Oeste (450) (1) |  | X | X | | ESPACIALES | La | Latitud (m) | X |  |  | | ESPACIALES | Lo | Longitud (m) | X |  |  | | ESPACIALES | La2 | Latitud al cuadrado (m) | X |  |  | | ESPACIALES | Lo2 | Longitud al cuadrado (m) | X |  |  | | ESPACIALES | LaLo | Variación relativa de la latitud por la longitud (m) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Tmed | Temperatura media anual(ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Rmtd | Rango medio de temperaturas diurnas (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Isot | Índice de variabilidad de la temperatura (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Test | Estacionalidad de la temperatura (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Tmax7 | Temperatura máxima del mes más cálido (Julio) (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Tmax1 | Temperatura mínima del mes más frío (Enero) (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Tran | Rango anual de temperatura (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Ptot | Precipitación anual (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Pvar | Coeficiente de variación anual de la precipitación (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | PPrim | Precipitación "primaveral" (Enero a Julio) (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | TAut | Temperatura media de otoño (sep-oct-nov) (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | TSpr | Temperatura media de primavera (mar-abr-may) (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | TSum | Temperatura media de verano (jun-jul-ago) (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | TWin | Temperatura media de invierno (dic-ene-feb) (ºC\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | PAut | Precipitación de otoño (sep-oct-nov) (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | PSpr | Precipitación de primavera (mar-abr-may) (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | PSum | Precipitación de verano (jun-jul-ago) (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | PWin | Precipitación de invierno (dic-ene-feb) (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Pene | Precipitación de Enero (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Pjul | Precipitación de Julio (mm\*10) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | RadSol | Radiación solar media (kJ m2 día) (2) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | PDias | Número de días de lluvia al año (3) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Tabsmax1 | Temperatura máxima absoluta mes más frio (ºC\*10) (3) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Tabsmax7 | Temperatura máxima absoluta mes más cálido (ºC\*10) (3) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Tabsmin1 | Temperatura mínima absoluta mes más frío (ºC\*10) (3) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Tabsmin7 | Temperatura mínima absoluta mes más cálido (ºC\*10) (3) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Frostday | Número de días de helada al año (3) | X | X |  | | CLIMÁTICAS | Rainmax1 | Máximo de precipitación en un día en Enero (mm\*10) (3) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Rainmax7 | Máximo de precipitación en un día en Julio (mm\*10) (3) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Rainday1 | Número medio de días con lluvia en Enero (3) | X |  |  | | CLIMÁTICAS | Rainday7 | Número medio de días con lluvia en Julio (3) | x |  |  | | ACTIVIDAD HUMANA | DenPobla | Densidad de población 2019 (hab/km2) (4) | X | X |  | | ACTIVIDAD HUMANA | DistPobla | Distancia euclidea mínima a un núcleo de población (m) (5) | X | X |  | | ACTIVIDAD HUMANA | NumPobla | Densidad de número de núcleos de población (5) | X | X |  | | ACTIVIDAD HUMANA | DistCarre | Distancia euclidea mínima a carreteras asfaltadas (6) | X | X | X | | ACTIVIDAD HUMANA | LongCarr | Densidad de longitud de carreteras asfaltadas (6) | X | X |  | | ACTIVIDAD HUMANA | Distcamin | Distancia euclidea mínima a caminos (6) | X | X | X | | ACTIVIDAD HUMANA | LongCamin | Densidad de longitud de caminos (6) | X | X |  | | ACTIVIDAD HUMANA | DistElect | Distancia euclidea mínima a tendidos eléctricos (6) | X | X | X | | ACTIVIDAD HUMANA | LongElect | Densidad de longitud de tendidos eléctricos (6) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | Arroz | % de arroz (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | CulSec | % de cultivo de secano (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | CulLen | % de cultivos leñosos (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | Prad | % de prados y praderas (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | CulHete | % de cultivos heterogéneos (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | Deh | % de dehesa (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | Bosq | % de bosque (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | Mat | % de matorral (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | AguCont | % de aguas continentales (7) | X |  |  | | USOS DEL SUELO | PastNat | % de pastizales naturales (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | Reg | % de regadíos (7) | X | X |  | | USOS DEL SUELO | SupArti | % de superficies artificiales (7) | X | X | X | | USOS DEL SUELO | SinVeg | % de áreas sin vegetación y roquedos (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | Np | Número total de parches (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | Pd | Densidad del número de parches (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | Lpi | % del parche de mayor tamaño (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | Lsi | Longitud de bordes (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | AreaMn | Área media de los parches (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | FracAm | Formula entre perímetro y área de los parches (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | Contag | Porcentaje de agregación de los parches (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | Shdi | Índice de diversidad de Shannon (7) | X | X |  | | ÍNDICES DEL PAISAJE | Shei | Índice de uniformidad de Shannon en la (7) | X | X |  | | VEGETACIÓN | Qfagpy | % de FCC de Quercus faginea o pyrenaica (8) | X | X | X | | VEGETACIÓN | Quesur | % de FCC de Quercus suber (8) | X | X | X | | VEGETACIÓN | Queile | % de FCC de Quercus rotundifolia (ilex) | X | X | X | | VEGETACIÓN | Cassat | % de FCC de Castanea sativa (8) | X | X | X | | VEGETACIÓN | Eucspp | % de FCC de Eucalyptus spp (8) | X | X | X | | VEGETACIÓN | Pino | % de FCC de Pinus (8) | x | x | x | | VEGETACIÓN | AltVeg | Altura de la vegetación superior a un metro (9) | X | X | X | | GANADO Y CAZA | DenCap | Densidad de ganado caprino (Ind/ha) (10) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | DenOvi | Densidad de ganado ovino (Ind/ha) (10) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | DenPor | Densidad de ganado porcino (Ind/ha) (10) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | DenVac | Densidad de ganado vacuno (Ind/ha) (10) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | CazaMa | Densidad de caza mayor (jabalí + ciervo) (Ind/100ha) (11) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | CazaMe | Densidad de caza menor (Conejo + Perdiz) (Ind/100ha) (11) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | Conejo | Densidad de conejos (Ind/100ha) (11) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | Perdiz | Densidad de perdices (Ind/100ha) (11) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | Ciervo | Densidad de ciervos (Ind/100ha) (11) | X | X |  | | GANADO Y CAZA | Jabali | Densidad de jabalíes (Ind/100ha) (11) | X | X |  | | LITOLOGÍA | Arena | % de Arena (12) |  | X | X | | LITOLOGÍA | Caliza | % de Caliza (12) |  | X | X | | LITOLOGÍA | Granito | % de Granito (12) |  | X | X | | LITOLOGÍA | Pizarra | % de Pizarra (12) |  | X | X | | HIDROLOGÍA | Hidro | Densidad de ríos (12) |  | X |  | | HIDROLOGÍA | Embalse | % de superficie de Embalses (>10 ha) (12) |  | X |  |   Tabla 11: Modelo Digital del Terreno 1ª Cobertura con paso de malla de 25 m - Instituto Geográfico Nacional (2) Ninyerola M, Pons X y Roure JM. 2005. Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra. (3) Atlas climático de Extremadura 1987-1994 - Grupo de Investigación en la Biología de la Conservación. (4) LandScanTM 2019 - Oak Ridge National Laboratory (5) Entidades de Población 2014 - CC-BY 4.0 CICTEX, Junta de Extremadura (6) Base Topográfica Nacional a escala 1:25.000. - Instituto Geográfico Nacional (7) CORINE Land Cover – Agencia Europea del Medio Ambiente (8) Mapa Forestal de España 1:25.000 (2018) - MITERD. Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación (9) Modelo Digital de Superficies Vegetación- MDSnV2,5 - Instituto Geográfico Nacional (10) Censos Ganaderos por Municipios. Ovino, vacuno y porcino 2019. Caprino 2019. – Dirección General de Medio Ambiente. Junta de Extremadura. (11) Plan General de Caza de Extremadura 2016. - Servicio de Caza y Pesca. Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Población y Territorio. Junta de Extremadura (12) Sistema de Información Territorial de Extremadura (SITEX) |

# ANEXO 2. RELACIÓN DE VARIABLES UTILIZADAS EN EL MODELO DE DISTRIBUCIÓN DEL ÁGUILA IMPERIAL EN FUNCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | **TIPOLOGÍA** | **NOMBRE** | **DESCRIPCIÓN** | **EXCLUSIÓN** | | --- | --- | --- | --- | | TOPOGRÁFICAS | Alt | Altitud media (m) (1) | a | | TOPOGRÁFICAS | Alt2 | Altitud media al cuadrado(m2) (1) | a | | TOPOGRÁFICAS | Slope | Pendiente media (grados) (1) | a | | CLIMÁTICAS | BIO1 | Temperatura media anual (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO2 | Rango Diurno Medio (media mensual (temp. máxima – temp. mínima) (2) | a | | CLIMÁTICAS | BIO3 | Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100) (2) |  | | CLIMÁTICAS | BIO4 | Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar ×100) (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO5 | Temperatura máxima del mes más cálido (2) |  | | CLIMÁTICAS | BIO6 | Temperatura minima del mes más frío (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO7 | Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6) (2) | a | | CLIMÁTICAS | BIO8 | Temperatura media del trimestre más húmedo (2) |  | | CLIMÁTICAS | BIO9 | Temperatura media del trimestre más árido (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO10 | Temperatura media del trimestre más cálido (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO11 | Temperatura media del trimestre más frío (2) | a | | CLIMÁTICAS | BIO12 | Precipitación anual (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO13 | Precipitación del mes más húmedo (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO14 | Precipitación del mes más árido (2) |  | | CLIMÁTICAS | BIO15 | Estacionalidad de las precipitaciones (Coeficiente de variación) (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO16 | Precipitación del trimestre más húmedo (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO17 | Precipitación del trimestre más árido (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO18 | Precipitación del trimestre más cálido (2) | b | | CLIMÁTICAS | BIO19 | Precipitación del trimestre más frío (2) | b |   Tabla 12: Modelo Digital del Terreno 1ª Cobertura con paso de malla de 25 m - Instituto Geográfico Nacional (2) Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 37 (12): 4302-4315. Exclusión: Proceso de exclusión de la variable mediante (a) análisis FDR y (b) regresión por pasos hacia delante. |