

TRABAJO FINAL DE GRADO

**Efectos del clima, estacionalidad y eventos  
climáticos extremos en el movimiento *Aquila  
chrysaetos* y *Aquila fasciata* en una región  
semiárida del sudeste de España mediante el uso de  
tecnología GPS**



Ilustración de Pep Cantó

Autor: Jorge Verdú Miralles

Tutor: Andrés Giménez Casalduero

Cotutores: Juan Manuel Pérez García y Joan Morant Etxebarria

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA APLICADA. ÁREA DE ECOLOGÍA  
GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

FEBRERO 2024

## Resumen

Las condiciones ambientales juegan un papel fundamental en el comportamiento de los principales depredadores. En un mundo cambiante donde los efectos del cambio climático cada día son más plausibles comprender el efecto del clima y otros factores asociados como la estacionalidad es fundamental para aumentar nuestros conocimientos sobre la ecología del movimiento de estas especies. Especialmente en las áreas más vulnerables como el Mediterráneo, donde la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos va en aumento. Este trabajo utiliza datos GPS obtenidos en el 2022, de dos rapaces apicales que coexisten con fuertes interacciones de competencia en el sudeste de la Península Ibérica, el águila real (*Aquila chrysaetos*) y el águila perdicera (*Aquila fasciata*), con el fin de describir la influencia de las estaciones y los parámetros climáticos (temperatura y precipitación) sobre los patrones de movimiento (área de campeo mensual y distancia acumulada diaria) de ambas especies. También, se examinaron los efectos de una ola de calor sobre el movimiento de los individuos. Nuestro modelo sobre la influencia estacional no muestra diferencias significativas en el movimiento de los individuos ni entre ambas especies. Sin embargo, las distancias acumuladas diarias indican desplazamientos más grandes en el águila real, posiblemente asociadas a las diferencias en la dieta y los requerimientos energéticos. Por otro lado, el águila perdicera muestra una mayor actividad que el águila real en condiciones de calor y precipitaciones extremas. Durante la ola de calor se observan diferencias significativas entre ambas especies, el águila real disminuyó sus desplazamientos, mientras que la perdicera se mostró más resiliente a estos factores. Los resultados reafirman las características más termófilas del águila perdicera, frente al carácter más holártico del águila real. Pudiendo tener implicaciones en la dinámica y distribución de las poblaciones. Sobre todo para el águila real, por encontrarse en límite de sus área de distribución y mostrar una mayor vulnerabilidad a los eventos climáticos extremos.

**Palabras clave:** movimiento animal, temperatura, ola de calor, *Aquila chrysaetos*, *Aquila fasciata*

## **Abstract**

Environmental conditions play a fundamental role in the behaviour of top predators. In a changing world where the effects of climate change are becoming more perceptible every day, understanding the effect of climate and other associated factors such as seasonality is fundamental to increase our knowledge of the ecology of the movement of these species. Especially in the most vulnerable areas such as the Mediterranean, where the frequency and intensity of extreme weather events is increasing. This work uses GPS data obtained in 2022, from two apical raptors that coexist with strong competition interactions in the southeast of the Iberian Peninsula, the golden eagle (*Aquila chrysaetos*) and Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*), in order to describe the influence of seasons and climatic parameters (temperature and precipitation) on the movement patterns (monthly home range and daily accumulated distance) of both species. We also examined the effects of a heat wave on the movement of individuals. Our model on the seasonal influence shows no significant differences in the movement of individuals or between the two species. However, cumulative daily distances indicate larger movements in golden eagles, possibly associated with differences in diet and energy requirements. On the other hand, Bonelli's eagles are more active than golden eagles in extreme heat and precipitation. During the heat wave, significant differences were observed between the two species, with the golden eagle decreasing its movements, while the Bonelli's eagle was more resilient to these factors. The results reaffirm the more thermophilic characteristics of the Bonelli's eagle, as opposed to the more holarctic character of the golden eagle. This may have implications for population dynamics and distribution. Especially for the golden eagle, as it is at the limit of its distribution area and shows a greater vulnerability to extreme climatic events.

**Key words:** animal movement, temperature, heatwave, *Aquila chrysaetos*, *Aquila fasciata*.

## Índice

1. Introducción .....	4
2. Antecedentes .....	6
3. Objetivos .....	6
4. Materiales y métodos.....	7
4.1. Área de estudio .....	7
4.2. Obtención datos de movimiento. Captura y marcaje de las águilas .....	8
4.3. Obtención datos meteorológicos.....	10
4.4. Obtención de la distancia acumulada y área de campeo.....	10
4.5. Análisis de los datos .....	10
5. Resultados.....	11
5.1. Influencia de las estaciones en el área de campeo.....	11
5.2. Influencia de los parámetros climáticos: temperatura y precipitación .....	13
5.3. Influencia de los eventos climáticos extremos: ola de calor .....	17
6. Discusión .....	18
7. Conclusiones .....	20
8. Proyección futura .....	21
9. Bibliografía .....	22
10. Agradecimientos .....	28

# 1. Introducción

Uno de los principales objetivos en el campo de la ecología del movimiento es descifrar como las variables ambientales influyen en las pautas del comportamiento animal (Riotte-Lambert & Matthiopoulos, 2020). En las regiones templadas del planeta, el clima (Shaw, 2020) y otros factores relacionados como la estacionalidad (Hill et al., 2003) juegan un papel fundamental en el movimiento de los animales residentes. Parámetros como la temperatura o la precipitación modulan los patrones del comportamiento animal (Alston et al., 2020; Lopez et al., 2023) y pueden influir en las condiciones del hábitat, las estrategias de supervivencia y reproducción, lo que se traduce en posibles implicaciones en las dinámicas poblacionales (Fisher et al., 2015; McCaslin et al., 2020).

La relación entre el clima y movimiento animal se explica muy bien a través de los impactos del cambio climático antropogénico, presentes en todo el planeta (Birch, 2014). Este fenómeno está alterando los patrones meteorológicos globales (IPCC, 2014) y complicando la gestión y conservación de muchas especies (Foden et al., 2013; Parmesan & Yohe, 2003; Selwood et al., 2015). Hasta ahora, la mayoría de los estudios se han enfocado en evaluar los efectos del cambio climático a largo plazo (Chapman et al., 2014; Jones et al., 2016) y la información sobre otros fenómenos, como los eventos climáticos extremos es bastante limitada (Maxwell et al., 2019).

Existen numerosas formas de definir a los eventos climáticos o meteorológicos extremos, también denominados ECEs (“extreme climate events”) (Ummenhofer & Meehl, 2017). El informe especial del IPCC sobre fenómenos climáticos extremos (IPCC, 2012) lo define como las situaciones en las que los valores de una variable meteorológica o climática son notablemente altos (o bajos) en comparación con los valores típicos observados. Utilizando un umbral como referencia para definir lo que se considera extremo. Siendo este, valores con menos del 10, 5, 1% (incluso menor) probabilidad de ocurrencia.

Se espera que la frecuencia, intensidad y duración de estos eventos se intensifique a medida que el cambio climático avanza (Rahmstorf & Coumou, 2011). Sobre todo, en las áreas más vulnerables, como la Región mediterránea (IPCC, 2023) donde ya se han registrado tendencias al aumento de periodos estivales con temperaturas extremadamente calurosas (Domínguez et al., 2013) e intensificación de las lluvias torrenciales, especialmente en zonas de sudeste peninsular (Moutahir et al., 2014; Oria Iriarte, 2020).

Las especies generan respuestas a los fenómenos climáticos extremos en todos los niveles ecológicos (Maxwell et al., 2019), incluyendo cambios en el comportamiento, el desplazamiento o la mortalidad (Danner et al., 2021; Salewski et al., 2013). Estas respuestas pueden traducirse en variaciones en la presencia y abundancia (Cohen et al., 2021), lo que podría influir en la dinámica poblacional a lo largo del tiempo. Esto enfatiza la necesidad de profundizar en la comprensión de los eventos climáticos extremos y sus efectos, con el fin de desarrollar estrategias efectivas en la gestión y conservación de las especies.

En los últimos años, la telemetría y los sistemas de posicionamiento global (GPS) han experimentado grandes avances en la monitorización de la fauna silvestre (Katzner & Arlettaz, 2020). Ahora las mejoras en resolución espacial, junto con datos meteorológicos permiten estudiar con gran precisión el efecto de parámetros y eventos climáticos sobre el comportamiento y la ecología animal (Neumann et al., 2022).

Estas tecnologías han sido empleadas con éxito en grupos de rapaces como las águilas (Urios Moliner et al., 2015). Estas aves desempeñan un papel fundamental regulando las poblaciones de presas y actúan como excelentes bioindicadores del estado de salud de los ecosistemas (Simon & Bowerman, 2016). Para cubrir sus necesidades ecológicas ocupan grandes áreas distribución, lo cual dificulta su gestión y conservación (Carrete et al., 2001). Además de ser especies muy vulnerables a cambios en el uso del suelo, al abandono rural o el desarrollo de infraestructuras (SEO/BirdLife, 2021), las interacciones de competencia entre especies con nichos similares y distribuciones solapadas podrían suponer otro factor de exclusión del hábitat (Solanou et al., 2022). Esto ocurre con del águila real (*Aquila chrysaetos*) y el águila perdicera (*Aquila fasciata*) en la Región mediterránea. Dos especies congéneres con requerimientos ecológicos similares, que coexisten en diferentes áreas, donde la alta competencia intraespecífica está afectando negativamente al águila perdicera (Bautista, 2022; Carrete et al., 2002)

El águila real tiene una amplia distribución espacial y altitudinal, con preferencia por las zonas de montaña y los paisajes abruptos para la colocación de sus nidos. Sin embargo, dada su alta plasticidad, también puede ocupar paisajes abiertos de matorral o ambientes forestales con árboles frondosos (Arroyo, 2017; Bautista, 2022). Los espacios abiertos coinciden con sus presas potenciales (perdices y conejos). Sin embargo, su amplio espectro trófico le permite consumir una gran variedad de presas dependiendo de la disponibilidad local de estas (Arroyo, 2017; Watson, 2010). En España, ocupa los principales sistemas

montañosos de la península, siendo ausente especialmente en Galicia y la meseta norte (Bautista, 2022). En el último censo, su población se estima en 1752-1915 parejas, siendo una de las poblaciones más grandes de Europa. No obstante, su reciente y constante crecimiento observado podría acercarse a la cifra de las 2000 parejas. (Bautista, 2022). Según su estado de conservación, se encuentra como “menos preocupante” (Least Concern; LC) en Europa (BirdLife International, 2015) y “Casi Amenazada” (Near Threatened; NT) en España (SEO/BirdLife, 2021)

Por otro lado, el águila perdicera es una especie caracterizada por ambientes más mediterráneos, habita en sierras o llanuras con topografía abrupta y zonas rocosas. También tiende a seleccionar hábitats más abiertos con poca vegetación, como los matorrales, sabinars o área de cultivo arbóreo donde abundan presas como conejos, palomas, córvidos y perdices (Di Vittorio et al., 2012; SEO/BirdLife, 2021). España alberga el 64% de la población europea con 711-745 parejas estimadas (Del Moral & Molina, 2018). Principalmente distribuida en las sierras del este y el sudeste peninsular, con parches irregulares en el centro y en el norte (Del Moral & Molina, 2018). En general, la especie sufre una tendencia negativa que no es homogénea. En el sudoeste se observa cierta estabilidad, mientras que el declive es mucho más acentuado en el norte y el litoral catalán. (Del Moral & Molina, 2018). En Europa está clasificada como “Casi Amenazada” (Near Threatened; NT) (BirdLife International, 2015) y “vulnerable” (VU) en España (SEO/BirdLife, 2021).

## 2. Antecedentes

Desde septiembre de 2020 el Grupo de Investigación de la UMH “Ecología y Conservación de la Biodiversidad” tiene un acuerdo de colaboración con la Dirección General del Medio Natural (DGMN) de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia para llevar a cabo un estudio que permita, entre otros objetivos, profundizar en el conocimiento de las interacciones de competencia entre Águila perdicera (*Aquila fasciata*) y Águila real (*Aquila chrysaetos*). Esta colaboración ha permitido la colocación de emisores de seguimiento GPS-GSM a 4 individuos de Águila real y 5 individuos de Águila perdicera, y parte de la información obtenida es la que se utiliza en este trabajo.

## 3. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es analizar la influencia del clima sobre la ecología del movimiento de dos depredadores apicales que coexisten en el sudeste de la península ibérica, el águila real (*Aquila chrysaetos*) y el águila perdicera (*Aquila fasciata*), durante el año 2022, considerado uno de los más calurosos de las últimas décadas.

Los objetivos específicos son:

- a) Evaluar la influencia estacional, comparando la actividad del águila real y el águila perdicera en invierno, primavera, verano y otoño mediante el análisis del área de campeo.
- b) Analizar la influencia climática, describiendo como la temperatura y la precipitación afectan al movimiento de ambas especies utilizando el análisis de la distancia acumulada.
- c) Explorar la influencia de eventos climáticos extremos, describiendo el efecto de una ola de calor sobre la actividad de águila real y águila perdicera en la región semiárida mediante el análisis de la distancia acumulada y buscar posibles implicaciones presentes y futuras en la dinámica de sus poblaciones

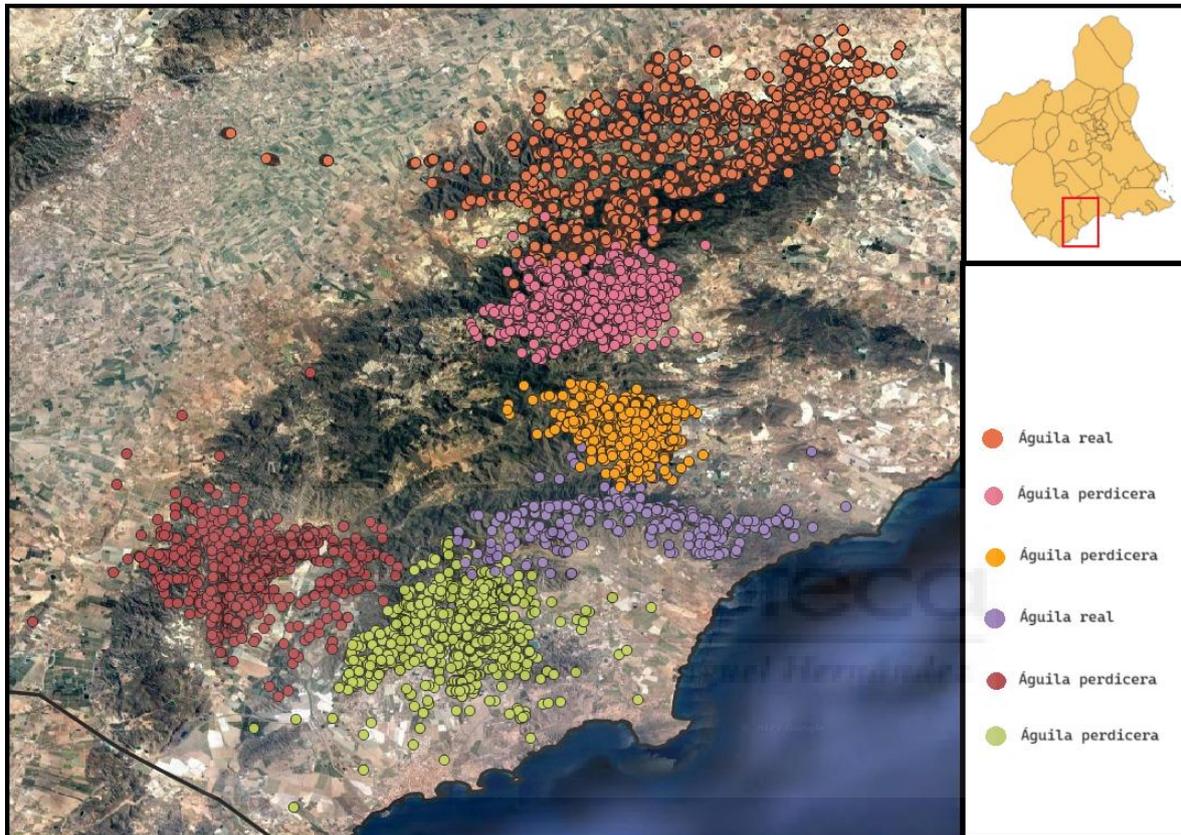
## 4. Materiales y métodos

### 4.1. Área de estudio

La zona de estudio donde se recopilaron los datos sobre la actividad de las águilas y las condiciones meteorológicas se sitúa en la porción suroccidental de la Región de Murcia, dentro de los municipios de Lorca, Mazarrón y Águilas. Esta área abarca las sierras litorales y prelitorales de Los Mayorales, Almenara, Carrasquilla y Lomo de Bas, así como la marina de Cope y Cabo Cope.

Este conjunto comprende áreas litorales y prelitorales de baja y mediana altitud (entre 0 y 888 m.s.n.m.). Predominan hábitats semidesérticos correspondientes a pisos bioclimáticos termo- y mesomediterráneo con ombrotipo semiárido. Abundan los matorrales como espartales y espinares. También se encuentran acantilados costeros, así como bosques de pino carrasco, especialmente en umbrías. Además, se incluyen áreas no muy extensas de cultivos de secano extensivo. En las zonas más colindantes se observan más cultivos de secano y agricultura intensiva de regadío bajo plástico.

La zona cuenta con varias figuras de protección a nivel europeo, entre las de más mayor interés, destacan la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de Almenara, Moreras y Cabo Cope (Consejería de Medio Ambiente, Mar Menor, Universidades e Investigación, 2010).



**Figura 1.** Ortofoto del área de estudio con las geolocalizaciones de los individuos monitorizados. Arriba a la derecha, la Región de Murcia con la zona de estudio resaltada.

#### 4.2. Obtención datos de movimiento. Captura y marcaje de las águilas

Este estudio emplea datos de localizaciones GPS de alta resolución, integrados en el repositorio en línea de Movebank, correspondientes a 6 individuos, 4 águilas perdiceras y 2 águilas reales, siendo todos ellos machos a excepción de uno.

Los ejemplares fueron capturados en su territorio mediante una red plegable activada por control remoto. La red estuvo bajo la supervisión de los técnicos de la Comunidad Autónoma en todo momento que se mantuvieron ocultos para disparar el resorte de captura.

Los individuos fueron marcados con datalogger GPS/GSM de batería solar, fabricados por Druid (China) y Ornitela (Lituania). Los dispositivos se colocaron en la espalda con un arnés

de teflón cosido con hilo de algodón para asegurar su desprendimiento en un periodo de dos años aproximadamente. Los pesos de los transmisores son de 48 y 50 g, respectivamente, y representaron el 1,66 - 2,86 % de la masa corporal de las águilas, por debajo del valor umbral (3 %) establecido para evitar efectos negativos en el comportamiento (Morollón, 2023).

Estas actividades fueron realizadas por los técnicos de la Consejería de Medio Ambiente, Universidades, Investigación y Mar Menor minimizando el tiempo de manipulación para evitar cualquier sufrimiento a los individuos.

Inicialmente, se configuró la frecuencia de muestreo de los dispositivos GPS en 5 minutos, correspondiendo al intervalo de tiempo entre cada lectura. Sin embargo, más tarde, los datos se estandarizaron reconfigurando la frecuencia de muestreo a 15 minutos para cada individuo. Asimismo, al tratarse de especies diurnas, con el fin de optimizar el consumo de batería y evitar una sobrecarga de datos, los dispositivos suspendían su emisión desde 1 hora después del atardecer hasta 1 hora antes del amanecer.



*Figura 2. Imagen de una de una zona de captura y seguimiento de los individuos marcados.*

#### 4.3. Obtención datos meteorológicos

La obtención de los datos climatológicos se obtuvo de la base de datos pública AEMET, mediante el paquete “climaemet” (Gavilán et al., 2021) . Este paquete nos permite descargar los datos que recogen las estaciones de cada provincia asociadas a AEMET. En este caso, recopilamos la información de las nueve estaciones presentes en la Región de Murcia. Se descartaron tres de ellas por falta de datos: Base aérea de Alcantarillas, Caravaca de la cruz y San Javier Aeropuerto. De las seis restantes, cuatro de ellas fueron seleccionadas en función de la cercanía a la zona de estudio: Águilas, Cartagena, Lorca y Murcia. Con los datos meteorológicos de estas cuatro estaciones se obtuvo la media de las temperaturas máximas y la media de las precipitaciones para cada día y mes del año 2022.

Respecto a los eventos climáticos extremos, tal y como se muestra en el Listado de provincias afectadas por olas de calor registradas desde 1975 (AEMET, 2023), la Región de Murcia y otras provincias cercanas sufrieron una ola de calor en el periodo del 12/06/2022 al 18/06/2022. Por lo tanto, se configuró este periodo como ola de calor para nuestros modelos.

#### 4.4. Obtención de la distancia acumulada y área de campeo

La distancia acumulada y el área de campeo fueron estimados para el año 2022 mediante el paquete de R “amt” (Signer et al., 2019). La distancia acumulada recorrida por día se calculó mediante la función “cum\_dist” para cada especie, individuo, mes y día. Se consideró como la suma total de la longitud de los tracks (en km). Por otro lado, el área de campeo se estimó para cada especie, individuo, mes y estación del año. Se utilizaron los contornos del estimador de densidad kernel (KDE) del 95% con la función “kde”.

Una vez estimamos la distancia acumulada diaria, el área de campeo y los datos meteorológicos, las bases de datos se fusionan utilizando el campo común día y mes.

#### 4.5. Análisis de los datos

En este estudio se realizaron tres conjuntos de modelos. Uno por cada objetivo específico.

En el primero, se compararon las diferencias del área de campeo (estimada como KDE 95%) en ambas especies según las diferentes estaciones del año. Dado que nuestro objetivo

era observar las influencias estacionales del clima, consideramos las estaciones, como la división y agrupación de los meses del año en función de los cambios en el clima, la ecología y la cantidad de horas de luz en una región determinada. Siendo esta división en cuatro grupos: invierno (enero, febrero, marzo), primavera (abril, mayo, junio), verano (julio, agosto, septiembre), otoño (octubre, noviembre, diciembre).

En el segundo, se analizó la distancia acumulada diaria de ambas especies frente a la media diaria de las temperaturas máximas y precipitaciones.

En el tercero, en el tercer modelo se analizó la distancia acumulada frente a la ola de calor manifestado en el año 2022. Solo se consideraron los meses estivales (junio, julio y agosto) ya que son los que coinciden con el periodo ola de calor y parte del periodo reproductor de las especies.

Debido a que los datos seguían una distribución normal, se utilizó un modelo lineal mixto (Bates et al., 2015). La temperatura, la precipitación, las especies, las estaciones y la ola de calor se incorporan en los modelos como variables fijas, mientras que la identidad del individuo se integra como factor aleatorio con el fin de evitar pseudorreplikaciones.

Finalmente, no consideramos la interacción entre las variables mencionadas anteriormente.

Para generar todas las combinaciones posibles entre variables se utilizó el paquete “MuMIn” (Bartoń, 2013). Todos los modelos fueron comparados utilizando los criterios de información de Akaike para tamaños de muestra pequeños (Gutiérrez-Cánovas & Escribano-Avila, 2019). El mejor modelo fue el que tuvo menor valor AICc y se consideraron alternativos todos los modelos con una diferencia de  $\Delta AICc < 2$  (Gutiérrez-Cánovas & Escribano-Avila, 2019). Se estimó la varianza explicada por los factores fijos y factores aleatorios con el paquete “performance” (Lüdecke et al., 2021) y la función “r2”. La significancia estadística se fijó en  $\alpha = 0,05$  y todos los resultados se mostraron como media  $\pm$  desviación estándar. Los análisis espaciales y estadísticos se realizaron en R versión 4.2.3 (R Core Team, 2023).

## 5. Resultados

### 5.1. Influencia de las estaciones en el área de campeo

Las águilas reales exploraron áreas de campeo (KD95%) mensuales más extensas (aprox. 56 km<sup>2</sup>) respecto al águila perdicera (aprox. 25 km<sup>2</sup>) (*Tabla 1*). En el águila real se observan áreas

de campeo mensuales entre 50-60 km<sup>2</sup> aprox. durante todo el año (*Tabla 2*). En cambio, el águila perdicera muestra áreas de campeo en la primavera son más grandes respecto al invierno. (*Tabla 2*).

**Tabla 1.** Estimaciones del tamaño del área de campeo mensual (en km<sup>2</sup>; estimado en KDE95%) de 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras marcadas con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022. Todos los valores se muestran con la media ( $\pm$  SE) y su rango (valores mínimo y máximo) entre paréntesis.

Especie	Área de campeo (Km <sup>2</sup> )
Águila real	56.7 $\pm$ 33.7 (1.86-105)
Águila perdicera	25.3 $\pm$ 34.3 (3.06-239)

**Tabla 2.** Tamaño del área de campeo mensual (en km<sup>2</sup>; estimado en KDE95%) en las diferentes estaciones del año de 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras marcadas con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022.

Especie	Área de campeo media (Km <sup>2</sup> ) $\pm$ SE			
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Águila real	61.3 $\pm$ 30.2	59.7 $\pm$ 43.2	49.1 $\pm$ 41.1	56.6 $\pm$ 25.5
Águila perdicera	23.3 $\pm$ 8.9	13.1 $\pm$ 6.9	40.9 $\pm$ 62.7	22.6 $\pm$ 5.7

Sin embargo, las diferencias estacionales no son representativas, debido a la poca baja significancia que muestran los valores *p* de nuestro mejor modelo (*Tabla 3 y 4*).

**Tabla 3.** Modelos obtenidos para evaluar el efecto de las estaciones, sobre el área de campeo (KDE95%) de 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras monitoreadas con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022.

Para el mejor modelo, se muestra la variabilidad (como porcentaje) explicada por los predictores fijos y aleatorios ( $R^2$ ). El mejor modelo ( $\Delta AICc < 2$ ) está resaltado en negrita. AICc: Criterio de información de Akaike corregido para tamaños de muestra pequeños; *k*: número de parámetros; *C<sub>w</sub>*: peso de Akaike;  $\Delta AICc$ : diferencia entre el AICc del modelo y el del mejor modelo (es decir, el modelo con menor AICc).

	Modelo	K	AIC <sub>c</sub>	ΔAIC <sub>c</sub>	AIC <sub>Cw</sub>	R <sup>2</sup> fijo	R <sup>2</sup> random
Patrones de movimiento							
Área de campeo (km <sup>2</sup> )	Estación + especie	2	628.3	0.00	0.973	0.147	0.498
	Estación	1	635.5	7.24	0.026		
	Especie	1	642.2	13.94	0.001		

**Tabla 4.** Estimaciones del mejor modelo efecto estacionalidad en el área de campeo mensual en 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras marcados con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022. En el modelo las variables Estación y la Especie se codificaron como factor, siendo “invierno” y “águila real” los valores de referencia para las comparaciones estadísticas.

Modelos	Variable respuesta	Indicadores	Estimación ± SE	Valor z	Valor p
Efecto Estacionalidad	Área de campeo	Especie (águila perdicera)	-29.224 ± 21.635	-1.351	0.2490
		Estación (otoño)	10.218 ± 9.740	1.049	0.2985
		Estación (primavera)	14.990 ± 9.388	1.597	0.1157
		Estación (verano)	9.094 ± 10.004	0.909	0.3671

## 5.2. Influencia de los parámetros climáticos: temperatura y precipitación

Por lo general, el águila real muestra distancias acumuladas diarias más grandes (aprox. 43 km) en comparación con el águila perdicera (aprox. 33 km) (Tabla 5).

**Tabla 5.** Estimaciones de las distancias acumuladas diarias (en km) para 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras marcadas con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022. Todos los valores se muestran con la media ( $\pm$  SE) y su rango (valores mínimo y máximo) entre paréntesis.

Especie	Distancia acumulada (Km)
Águila real	43 $\pm$ 28 (0-179)
Águila perdicera	33.5 $\pm$ 19 (0-123)

El modelo muestra patrones significativos en el movimiento del águila real y el águila perdicera respecto a los parámetros climáticos temperatura y precipitación (Tabla 6 y 7).

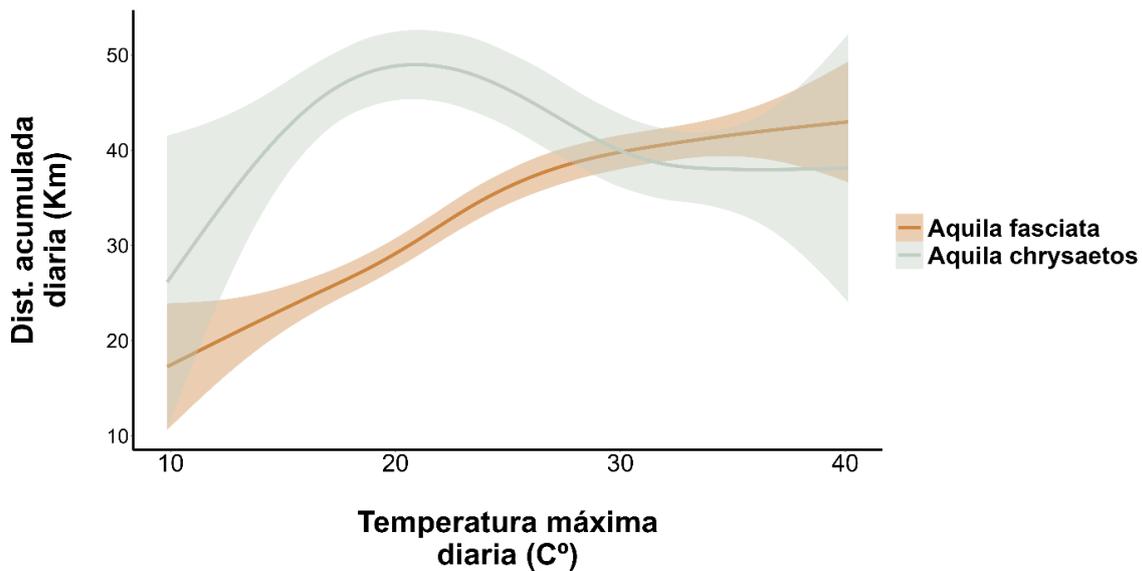
**Tabla 6.** Modelos obtenidos para evaluar el efecto el clima (temperatura, precipitación) sobre la distancia acumulada diaria de 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras monitoreadas con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022. Para el mejor modelo, se muestra la variabilidad (como porcentaje) explicada por los predictores fijos y aleatorios ( $R^2$ ). El mejor modelo ( $\Delta AICc < 2$ ) están resaltados en negrita. AICc: Criterio de información de Akaike corregido para tamaños de muestra pequeños; k: número de parámetros; Cw: peso de Akaike;  $\Delta AICc$ : diferencia entre el AICc del modelo y el del mejor modelo (es decir, el modelo con menor AICc).

	Modelo	K	AICc	$\Delta AICc$	AICc <sub>w</sub>	R <sup>2</sup> fijo	R <sup>2</sup> random
Patrones de movimiento							
Distancia acumulada diaria (km)	<b>Especie + temperatura + precipitación + especie*temperatura + especie*precipitación</b>	<b>5</b>	<b>16149.9</b>	<b>0.00</b>	<b>0.871</b>	<b>0.110</b>	<b>0.346</b>
	Especie + temperatura + precipitación. + especie*temperatura	4	16153.7	3.82	0.129		

**Tabla 7.** Estimaciones del mejor modelo efectos del clima en distancia acumulada diaria para 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras registradas con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022. En el modelo Efectos clima las variables meteorológicas (Temperatura máxima media y precipitación media) y Especie se codificaron como factor, siendo “Temperatura máxima media (no)”, “Precipitación media(no)” y “águila perdicera” los valores de referencia para las comparaciones estadísticas.

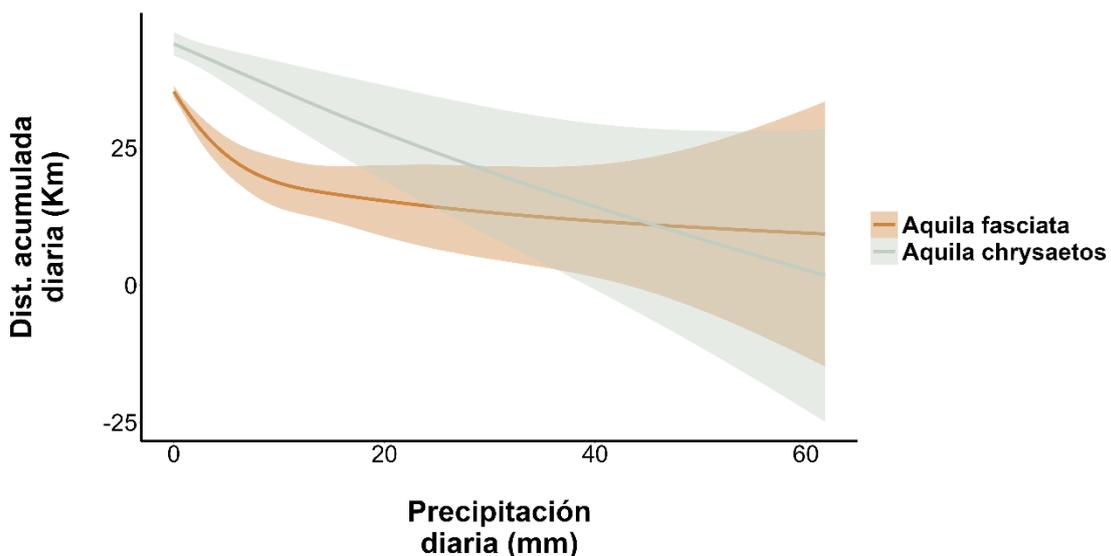
Modelos	Variable respuesta	Indicadores	Estimación ± SE	Valor z	Valor p
Efectos clima (Temperatura y Precipitación)	Distancia acumulada	Temperatura máxima media	0.871 ± 0.088	9.888	<b>&lt;0.001</b>
		Precipitación media	-0.535 ± 0.13	-4.131	<b>&lt;0.001</b>
		Especie (águila real)	47.606 ± 10.867	4.381	<b>0.007</b>
		Temperatura máxima media*especie (águila real)	-1.510 ± 0.144	-10.509	<b>&lt;0.001</b>
		Precipitación media*especie (águila real)	-0.537 ± 0.196	-2.690	<b>0.007</b>

Respecto al análisis de la temperatura, a lo largo del año las especies experimentan una mayor actividad en los días cálidos (Tabla 7). Sin embargo, las distancias acumuladas diarias más grandes del águila real se observan a temperaturas máximas de 20°C aproximadamente, durante las cuales casi alcanzó los 50 km (Figura 3). Cuando las temperaturas máximas exceden a 25-30°C, el desplazamiento del águila real se reduce, no superando distancias de 40 km diarios. (Figura 3). Por otro lado, los desplazamientos del águila perdicera cuando las temperaturas máximas alcanzan los 20°C no superan los 30 km diarios (Figura 3). Sin embargo, la especie muestra una mayor actividad de movimiento en comparación con el águila real en condiciones de temperaturas más elevadas (Tabla 7). De hecho, su actividad óptima se observa cuando las temperaturas máximas oscilan entre los 35-40°C, recorriendo distancias superiores a los 40 km diarios (Figura 3).



**Figura 3.** Gráfico sobre la distancia acumulada diaria recorrida durante el 2022 por *Aquila chrysaetos* ( $n=2$ ) y *Aquila fasciata* ( $n=4$ ) en función de la temperatura máxima diaria.

En cuanto a la precipitación, las especies manifiestan distancias acumuladas más bajas en presencia de precipitaciones (*Tabla 7*). En ambas especies los desplazamientos disminuyen progresivamente acorde al aumento de las precipitaciones, sin llegar a alcanzar los 15 km diarios cuando las precipitaciones son superiores a 50 mm. (*Figura 4*). Sin embargo, la reducción del movimiento es más pronunciada en el águila real (*Figura 4*), siendo su desplazamiento inferior al del águila perdicera (*Tabla 7*).



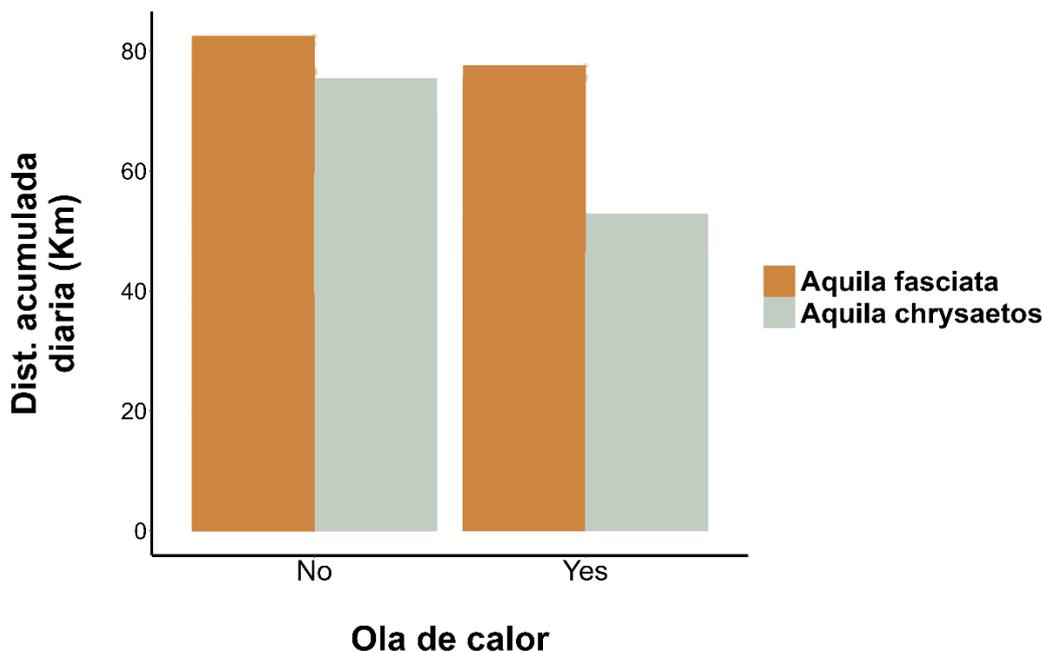
**Figura 4.** Gráfico sobre la distancia acumulada diaria recorrida durante el 2022 por *Aquila chrysaetos* ( $n=2$ ) y *Aquila fasciata* ( $n=4$ ) en función de la precipitación diaria.

### 5.3. Influencia de los eventos climáticos extremos: ola de calor

El modelo revela diferencias entre el periodo de ola de calor y el periodo estival estándar. Durante la ola de calor, los desplazamientos del águila perdicera no sufren apenas cambios (*Figura 5*). Sin embargo, se observan cambios significativos en el águila real (*Tabla 8*) que disminuye su desplazamiento considerablemente (*Figura 5*), aproximadamente 17 km menos que el águila perdicera (*Tabla 8*).

**Tabla 8.** Estimaciones del mejor modelo ola de calor sobre la distancia acumulada diaria en 2 águilas reales y 4 águilas perdiceras registradas con GPS en la Región de Murcia (España) para el año 2022. Las variables Ola de calor y Especie se codificaron como factor, siendo “Ola de calor (no)” y “Águila perdicera” los valores de referencia para las comparaciones estadísticas. Todos los valores significativos están resaltados en *negrita*.

Modelos	Variable respuesta	Indicadores	Estimación $\pm$ SE	Valor z	Valor p
Efecto Eventos Climáticos Extremos (ola de calor)	Distancia acumulada	Ola de calor (si)	2.561 $\pm$ 4.879	0.525	0.600
		Especie (águila real)	9.526 $\pm$ 3.833	0.176	0.869
		Ola de calor (si)* especie (águila real)	-17.724 $\pm$ 7.671	-2.311	<b>0.022</b>



**Figura 5.** Gráfico sobre la distancia acumulada diaria recorrida durante el 2022 por *Aquila chrysaetos* ( $n=2$ ) y *Aquila fasciata* ( $n=4$ ) en función de la ola de calor de los meses estivales.

## 6. Discusión

Los resultados indican que el águila real abarca áreas de campeo más extensas y recorre distancias más largas que la perdicera. Esta disparidad podría atribuirse a las diferencias en las características de las presas. El águila real, como rapaz de mayor envergadura, requiere presas de más grandes (liebres, conejos y perdices) para satisfacer sus necesidades energéticas (Watson, 2010). Estas presas, al ser de mayor tamaño, tienden a ocupar áreas más extensas. Por lo tanto, el área de campeo y las distancias recorridas del águila real tienden a ser superiores frente a las de la perdicera, una rapaz especializada en cazar presas más pequeñas (por ejemplo, córvidos y palomas) que ocupan áreas más reducidas (SEO/BirdLife, 2021).

En cuanto a los parámetros temperatura y precipitación, los individuos se desplazaron más en condiciones de temperaturas cálidas y ausencia de precipitación. Estas condiciones meteorológicas parecen ser más favorables para los patrones de vuelo y caza de estas aves, lo que disminuye el gasto energético durante los desplazamientos (Hiraldo & Donazar, 1990).

La temperatura resulta ser un factor determinante, principalmente para el desplazamiento del águila perdicera, mostrando una afinidad muy alta a condiciones de calor, a diferencia de su congénere el águila real. Esto coincide con las observaciones de otros estudios realizados en áreas costeras del mediterráneo (Solanou et al., 2022), donde se determinó que la distribución reproductora del águila perdicera estaba muy influenciada por la temperatura. La distinción entre los nichos ecológicos por la temperatura también explica las preferencias altitudinales de cada especie (Muñoz et al., 2016; Ontiveros & Pleguezuelos, 2003), siendo el águila perdicera más afín a áreas bajas y costeras, en contraste con águila real, más ligada a hábitats montañosos y continentales (Solanou et al., 2022). Estos resultados también podrían asociarse a las diferencias en los patrones de vuelo de ambas especies. Por ejemplo, un carácter más planeador del águila perdicera, dada la diferencia en la carga alar de ambas especies.

Los efectos de las olas de calor, las temperaturas máximas medias y las fuertes lluvias disminuyen considerablemente el movimiento del águila real, mientras el águila perdicera parece ser más resiliente a estos factores. Esta diferencia podría estar relacionada con los orígenes biogeográficos de las especies (López-López et al., 2004). La primera, con una distribución mucho más amplia, cosmopolita y con antecedentes holárticos, se presenta en el límite de su área de distribución, lo que podría hacerla más propensa a sufrir los efectos de los cambios abióticos como las temperaturas o precipitaciones extremas. En cambio, la segunda, con antecedentes indoafriano podría mostrar el resultado de una mayor adaptabilidad a los ambientes mediterráneos semiáridos donde son reiterados los fenómenos climáticos extremos de esta índole (López-Peinado & López-López, 2024; Martínez et al., 2013).

De nuevo, las diferencias de tamaño corporal entre las especies podrían explicar las diferencias observadas durante la ola de calor. Las especies de mayor tamaño, como el águila real, suelen tener una mayor dificultad para regular su temperatura corporal durante condiciones extremas de calor (Addo-Bediako et al., 2000; Angilletta, 2009). Por lo tanto, las especies más pequeñas como el águila perdicera podrían conferir ventajas adaptativas frente a estos fenómenos climáticos.

En áreas como el mediterráneo, donde los efectos del cambio climático se acrecientan y se prevén aumentos en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos como olas de calor o lluvias torrenciales, es plausible que existan implicaciones en las dinámicas

poblaciones de estas aves. Sobre todo, en especies más vulnerables como el águila real, pudiendo sufrir cambios en la densidad de la población o la contracción del área de distribución (posible 8), mediante el desplazamiento de individuos, principalmente dispersantes, hacia áreas más continentales y septentrionales.

A su vez, en escenarios futuros, estos factores ambientales potenciados por el efecto del cambio climático, podrían inferir en las interacciones interespecíficas en ambientes similares donde ambas especies se solapan. La capacidad del águila perdicera para adaptarse mejor a estas condiciones, podría darle una ventaja competitiva frente al águila real. Esto puede traducirse en la posibilidad de que la perdicera recuperase antiguos territorios ocupados ahora por su congénere (Carrete et al., 2002; Sergio & Hiraldo, 2008).

Por último, destacar que gran parte de los resultados estudiados en este trabajo, tienen un gran margen de mejora. La baja varianza que muestran los factores fijos (especialmente el modelo ola de calor) y la alta varianza de los factores aleatorios (principalmente en el modelo efecto estacionalidad), indican que variables, no contemplados en este estudio, podrían estar influyendo en los resultados.

Principalmente, se evidencia que el reducido tamaño muestral de individuos, la restringida área de estudio y el breve periodo analizado pueden no capturar la plenitud de los procesos estudiados. Además, otros parámetros meteorológicos, como el viento, así como otras variables ambientales que inciden en el territorio podrían desempeñar un papel fundamental en la modelización de los datos. Por ejemplo, la disponibilidad de presas es el principal factor que modula el tamaño territorial y a menudo depende principalmente de las precipitaciones de años anteriores.

## 7. Conclusiones

Nuestro trabajo añade evidencias sobre la importancia de los parámetros climáticos en los patrones de movimiento de grandes rapaces y corrobora diferencias comportamentales en dos especies del género *Aquila*.

Concluimos que existe una diferenciación en los patrones de movimiento de las especies condicionada por la temperatura y muy posiblemente por sus preferencias altitudinales, ligadas fuertemente a sus antecedentes biogeográficos. Donde observamos una mayor actividad del águila perdicera en los periodos con temperaturas altas, características propias

de una especie más termófila adaptada a ambientes mediterráneos semiáridos, mientras que el águila real se muestra más frágil al calor.

El efecto de la ola de calor, tuvo un impacto significativo en el comportamiento del águila real, lo que resultó una disminución considerablemente sus movimientos. A diferencia de su congénere, el águila perdicera se mostró más resiliente a este factor. Este hallazgo sugiere que el águila real podría ser más susceptible a condiciones climáticas extremas. La disparidad entre ambas especies puede estar relacionada con las características biogeográficas y el tamaño corporal.

Las diferencias en la adaptabilidad ante eventos climáticos extremos podrían tener implicaciones en la dinámica y distribución de las poblaciones o influir en las interacciones interespecíficas de ambas especies.

## 8. Proyección futura

Es crucial seguir investigando sobre el impacto de los eventos climáticos extremos en el comportamiento de estos animales, especialmente en zonas como el área de estudio que están fuertemente expuestas a los efectos del cambio climático y se prevé el aumento considerable de estos fenómenos.

Además, es necesario ampliar nuestros conocimientos sobre la ecología del movimiento de ambas especies, así como los factores ambientales que puedan influir en ellos. Con especial atención en el águila perdicera, que ha experimentado un marcado declive en las zonas más septentrionales de la península ibérica. Lo que implica, que áreas como la de nuestro estudio, con condiciones más favorables, desempeñen un papel fundamental en su conservación.

## 9. Bibliografía

- Addo-Bediako, A., Chown, S. L., & Gaston, K. J. (2000). Thermal tolerance, climatic variability and latitude. *Proceedings. Biological Sciences*, 267(1445), 739–745.  
<https://doi.org/10.1098/RSPB.2000.1065>
- AEMET. (2023). *Olas de calor en España desde 1975 - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España.*
- Alston, J. M., Joyce, M. J., Merkle, J. A., & Moen, R. A. (2020). Temperature shapes movement and habitat selection by a heat-sensitive ungulate. *Landscape Ecology*, 35(9), 1961–1973. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01072-y>
- Angilletta, M. J. (2009). Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. *Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis*, 1–302.  
<https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSO/9780198570875.001.1>
- Arroyo, B. (2017). *Águila real – Aquila chrysaetos (Linnaeus, 1758)*.  
<https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/8928>
- Bartoń, K. (2013). MuMIn: Multi-model inference. In *R package version 1.10.0*. (Vol. 1).
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. M., & Walker, S. C. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48.  
<https://doi.org/10.18637/JSS.V067.I01>
- Bautista, J. (2022). *Águila real - Atlas de aves*. <https://atlasaves.seo.org/ave/aguila-real/>
- BirdLife International. (2015). *BirdLife International. 2015. Aquila chrysaetos (Europe assessment)*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T22696060A60131733*. Accessed on 15 February 2024.  
<https://www.iucnredlist.org/species/22696060/60131733>
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J. A., Martínez, J. E., Sánchez, M. Á., & Calvo, J. F. (2002). Factors influencing the decline of a Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* population in southeastern Spain: Demography, habitat or competition? *Biodiversity and Conservation*, 11(6), 975–985. <https://doi.org/10.1023/A:1015856924451>
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J., Martínez, J., Palazón, J., & Calvo, J. (2001). Distribución espacial del Águila-Azor Perdicera (*Hieraetus fasciatus*) y del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) en la Región de Murcia. *Ardeola: Revista Ibérica de Ornitología*, 48, 175–182.

- Chapman, S., Mustin, K., Renwick, A. R., Segan, D. B., Hole, D. G., Pearson, R. G., & Watson, J. E. M. (2014). Publishing trends on climate change vulnerability in the conservation literature reveal a predominant focus on direct impacts and long time-scales. *Diversity and Distributions*, *20*(10), 1221–1228. <https://doi.org/10.1111/ddi.12234>
- Cohen, J. M., Fink, D., & Zuckerberg, B. (2021). Extreme winter weather disrupts bird occurrence and abundance patterns at geographic scales. *Ecography*, *44*(8), 1143–1155. <https://doi.org/10.1111/ECOG.05495>
- Consejería de Medio Ambiente Mar Menor Universidades e Investigación. (2010). *Decreto n.º 299/2010, de 26 de noviembre, del Plan de Gestión y Conservación de la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de Almenara, Moreras y Cabo Cope*.
- Danner, R. M., Coomes, C. M., & Derryberry, E. P. (2021). Simulated heat waves reduce cognitive and motor performance of an endotherm. *Ecology and Evolution*, *11*(5), 2261–2272. <https://doi.org/10.1002/ECE3.7194>
- Del Moral, J. C., & Molina, B. (2018). El águila perdicera en España. Población reproductora en 2018 y método de censo. In *El águila perdicera en España. Población reproductora en 2018 y método de censo*. SEO/BirdLife. <https://doi.org/10.31170/0065>
- Di Vittorio, M., Sará, M., & López-López, P. (2012). Habitat preferences of Bonelli's Eagles *Aquila fasciata* in Sicily. *Bird Study*, *59*(2), 207–217. <https://doi.org/10.1080/00063657.2012.656577>
- Domínguez, M., Romera, R., Sánchez, E., Fita, L., Fernández, J., Jiménez-Guerrero, P., Montávez, J. P., Cabos, W. D., Liguori, G., & Gaertner, M. Á. (2013). Present-climate precipitation and temperature extremes over Spain from a set of high resolution RCMs. *Climate Research*, *58*(2), 149–164. <https://doi.org/10.3354/cr01186>
- Fernández, M., Oria, J., Sánchez, R., Gonzalez, L. M., & Margalida, A. (2009). Space Use of Adult Spanish Imperial Eagles *Aquila adalberti*. <https://doi.org/10.3161/000164509X464849>, *44*(1), 17–26. <https://doi.org/10.3161/000164509X464849>
- Fisher, R. J., Wellicome, T. I., Bayne, E. M., Poulin, R. G., Todd, L. D., & Ford, A. T. (2015). Extreme precipitation reduces reproductive output of an endangered raptor. *Journal of Applied Ecology*, *52*(6), 1500–1508. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12510>
- Foden, W. B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Vié, J. C., Akçakaya, H. R., Angulo, A., DeVantier, L. M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S. D., Katariya, V., Bernard, R.,

- Holland, R. A., Hughes, A. F., O'Hanlon, S. E., Garnett, S. T., Şekercioğlu, Ç. H., & Mace, G. M. (2013). Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PLOS ONE*, 8(6), e65427. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0065427>
- Gavilán, M. P., Hernangómez, D., & Fernández-Avilés, G. (2021). *climaemet: Climate AEMET Tools*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5512237>
- Gutiérrez-Cánovas, T., & Escribano-Avila, G. (2019). Inferencia estadística a partir de varios modelos y su utilidad en ecología. *Ecosistemas*, 28, 118–120. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1699>
- Haworth, P. F., Mcgrady, M. J., Whitfield, D. P., Fielding, A. H., & McLeod, D. R. A. (2006). Ranging distance of resident Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in western Scotland according to season and breeding status. *Bird Study*, 53(3), 265–273. <https://doi.org/10.1080/00063650609461442>
- Hill, R. A., Barrett, L., Gaynor, D., Weingrill, T., Dixon, P., Payne, H., & Henzi, S. P. (2003). Day Length, Latitude and Behavioural (In)flexibility in Baboons (*Papio cynocephalus ursinus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 53(5), 278–286. <http://www.jstor.org/stable/4602216>
- Hiraldo, F., & Donazar, J. A. (1990). Foraging time in the Cinereous Vulture *Aegypius monachus*: seasonal and local variations and influence of weather. *Bird Study*, 37(2), 128–132. <https://doi.org/10.1080/00063659009477048>
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. .
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC. (2023). Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In I. P. on C. C. (IPCC) (Ed.), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1767–1926). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/9781009157896.014>

- Jones, K. R., Watson, J. E. M., Possingham, H. P., & Klein, C. J. (2016). Incorporating climate change into spatial conservation prioritisation: A review. In *Biological Conservation* (Vol. 194, pp. 121–130). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.008>
- Katzner, T. E., & Arlettaz, R. (2020). Evaluating Contributions of Recent Tracking-Based Animal Movement Ecology to Conservation Management. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 502429. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2019.00519/BIBTEX>
- Lopez, L. K., Gil, M. A., Crowley, P. H., Trimmer, P. C., Munson, A., Ligocki, I. Y., Michelangeli, M., & Sih, A. (2023). Integrating animal behaviour into research on multiple environmental stressors: a conceptual framework. *Biological Reviews*, 98(4), 1345–1364. <https://doi.org/10.1111/BRV.12956>
- López-López Pascual, García-Ripollés Clara, García-López Francisco, Aguilar Miguel, & Verdejo José. (2004, January). *Patrón de distribución del Águila Real Aquila chrysaetos y el Águila-azor Perdicera Hieraaetus fasciatus en la provincia de Castellón*. [https://www.researchgate.net/publication/228785740\\_Patron\\_de\\_distribucion\\_del\\_Aguila\\_Real\\_Aquila\\_chrysaetos\\_y\\_el\\_Aguila-azor\\_Perdicera\\_Hieraaetus\\_fasciatus\\_en\\_la\\_provincia\\_de\\_Castellon](https://www.researchgate.net/publication/228785740_Patron_de_distribucion_del_Aguila_Real_Aquila_chrysaetos_y_el_Aguila-azor_Perdicera_Hieraaetus_fasciatus_en_la_provincia_de_Castellon)
- López-Peinado, A., & López-López, P. (2024). Breeders' age, nest-site characteristics and climatic conditions but not density-dependent effects determine Bonelli's Eagle breeding performance: A long-term study (2002–2021). *Ornithological Applications*, 126(1). <https://doi.org/10.1093/ORNITHAPP/DUAD048>
- Lüdecke, D., Ben Shachar, M., Patil, I., Waggoner, P., & Makowski, D. (2021). performance: An R Package for Assessment, Comparison and Testing of Statistical Models. *The Journal of Open Source Software*, 6, 3139. <https://doi.org/10.21105/joss.03139>
- Martínez, J., Jiménez-Franco, M., Zuberogoitia, I., León-Ortega, M., & Calvo, J. (2013). Assessing the short-term effects of an extreme storm on Mediterranean forest raptors. *Acta Oecologica*, 48, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.01.017>
- Maxwell, S. L., Butt, N., Maron, M., McAlpine, C. A., Chapman, S., Ullmann, A., Segan, D. B., & Watson, J. E. M. (2019). Conservation implications of ecological responses to extreme weather and climate events. In *Diversity and Distributions* (Vol. 25, Issue 4, pp. 613–625). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/ddi.12878>

- McCaslin, H. M., Caughlin, T. T., & Heath, J. A. (2020). Long-distance natal dispersal is relatively frequent and correlated with environmental factors in a widespread raptor. *Journal of Animal Ecology*, *89*(9), 2077–2088. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13272>
- Morant, J., Arrondo, E., Antonio Sánchez-Zapata, J., Donázar, J. A., Cortés-Avizanda, A., De, | Manuel, Riva, L., Blanco, G., Félix Martínez, |, Oltra, J., Carrete, M., Margalida, A., Oliva-Vidal, P., José, |, Martínez, M., Serrano, | David, Juan, |, Pérez-García, M., Manuel Pérez-García, J., ... Carlos, J. (2023). Large-scale movement patterns in a social vulture are influenced by seasonality, sex, and breeding region. *Ecology and Evolution*, *13*. <https://doi.org/10.1002/ece3.9817>
- Morollón, S. (2023). *Comportamiento espacial y territorial del águila-azor perdicera Aquila fasciata y del águila real Aquila chrysaetos en el sudeste de España*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/135689>
- Moutahir, H., De Luis, M., Serrano-Notivoli, R., Touhami, I., & Bellot, J. (2014). Análisis de los eventos climáticos extremos en el sur de Alicante, sureste de España. In Fernández-Montes S & Rodrigo F.S (Eds.), *CAMBIO CLIMÁTICO Y CAMBIO GLOBAL* (Seria A, n9, pp. 457–466). Asociación Española de Climatología (AEC). <https://doi.org/10.13140/2.1.1999.4564>
- Muñoz, A. R., Real, R., Barbosa, A. M., & Vargas, J. M. (2016). *Modelling the distribution of Bonelli's eagle in Spain: Implications for conservation planning*.
- Neumann, L. K., Fuhlendorf, S. D., Davis, C. D., & Wilder, S. M. (2022). Climate alters the movement ecology of a non-migratory bird. *Ecology and Evolution*, *12*(4), e8869. <https://doi.org/10.1002/ECE3.8869>
- Ontiveros, D., & Pleguezuelos, J. M. (2003). Influence of climate on Bonelli's eagle's (*Hieraetus fasciatus* V. 1822) breeding success through the Western Mediterranean. *Journal of Biogeography*, *30*(5), 755–760. <https://doi.org/10.1046/J.1365-2699.2003.00860.X>
- Oria Iriarte, P. (2020). ¿Está aumentando la frecuencia o la intensidad de las precipitaciones extremas en el Mediterráneo? *Agencia Estatal de Meteorología. Calendario Meteorológico, 2021.*, 321–328. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/12815>
- Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, *421*(6918), 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>

- Pérez-García, J. M., Margalida, A., Afonso, I., Ferreiro, E., Gardiazábal, A., Botella, F., & Sánchez-Zapata, J. A. (2013). Interannual home range variation, territoriality and overlap in breeding Bonelli's Eagles (*Aquila fasciata*) tracked by GPS satellite telemetry. *Journal of Ornithology*, *154*(1), 63–71. <https://doi.org/10.1007/s10336-012-0871-x>
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing (Version 4.2.3)* (Version 4.2.3). R Foundation for Statistical Computing.
- Rahmstorf, S., & Coumou, D. (2011). Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(44), 17905–17909. <https://doi.org/10.1073/pnas.1101766108>
- Riotte-Lambert, L., & Matthiopoulos, J. (2020). Environmental Predictability as a Cause and Consequence of Animal Movement. *Trends in Ecology & Evolution*, *35*(2), 163–174. <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2019.09.009>
- Salewski, V., Hochachka, W. M., & Fiedler, W. (2013). Multiple Weather Factors Affect Apparent Survival of European Passerine Birds. *PLOS ONE*, *8*(4), e59110. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0059110>
- Selwood, K. E., Mcgeoch, M. A., & Mac Nally, R. (2015). The effects of climate change and land-use change on demographic rates and population viability. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *90*(3), 837–853. <https://doi.org/10.1111/BRV.12136>
- SEO/BirdLife. (2021). *Libro Rojo de las aves de España*. [www.seo.org](http://www.seo.org)
- Sergio, F., & Hiraldo, F. (2008). Intraguild predation in raptor assemblages: a review. *Ibis*, *150*(SUPPL.1), 132–145. <https://doi.org/10.1111/J.1474-919X.2008.00786.X>
- Shaw, A. K. (2020). Causes and consequences of individual variation in animal movement. *Movement Ecology*, *8*(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40462-020-0197-x>
- Signer, J., Fieberg, J., & Avgar, T. (2019). Animal movement tools (amt): R package for managing tracking data and conducting habitat selection analyses. *Ecology and Evolution*, *9*(2), 880–890. <https://doi.org/10.1002/ECE3.4823>
- Simon, K. L., & Bowerman, W. W. (2016). *BALD EAGLES (HALIAEETUS LEUCOCEPHALUS) AS INDICATORS OF GREAT LAKES ECOSYSTEM HEALTH*. <https://doi.org/10.13016/M2622Z>
- Solanou, M., Trypidaki, E., Georgopoulou, E., Damianakis, K., Kardamaki, A., & Xirouchakis, S. M. (2022). Selection of Nesting Habitat and Insular Niche Separation of Two Sympatric *Aquila* Species. *Diversity*, *14*(12), 1136. <https://doi.org/10.3390/d14121136>

Ummenhofer, C. C., & Meehl, G. A. (2017). Extreme weather and climate events with ecological relevance: A review. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 372, Issue 1723). Royal Society Publishing.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0135>

Urios Moliner, Vicente., Mellone, Ugo., & Romero Gil, Marta. (2015). *The use of satellite telemetry for the study of the movement ecology of raptors*. 176.

[https://publicaciones.ua.es/libro/the-use-of-satellite-telemetry-for-the-study-of-the-movement-ecology-of-raptors\\_112750/](https://publicaciones.ua.es/libro/the-use-of-satellite-telemetry-for-the-study-of-the-movement-ecology-of-raptors_112750/)

Watson, Jeff. (2010). *The golden eagle*. 448.

<https://www.perlego.com/es/book/874858/the-golden-eagle-pdf>

## 10. Agradecimientos

Quiero agradecer al Grupo de Investigación de la UMH “Ecología y Conservación de la Biodiversidad”, a Emilio Aledo, responsable de la Dirección General del Medio Natural (DGMN) de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia y a Mario León, responsable del programa de seguimiento por prestarme los datos sobre las aves, así como a todas las personas que colaboraron en su captura y marcaje.

Darle las gracias a Pep Cantó por prestarme la preciosa ilustración de la portada, fruto de un trabajo duro reflejado en su libro *PEQUEÑA GUIA DE FAUNA DE LAS 101 ESPECIES más comunes de Mariola y Font Roja*.

Darle las gracias también a mis tutores, especialmente a Jon por la implicación y la paciencia, que ha sido mucha. Gracias por confiar en mi y estar disponibles hasta el último segundo.

Por último, darle las gracias a mi familia y amigos, por apoyarme y facilitar en este largo y bonito camino. Sin ellos estoy seguro de que el paso por la universidad no hubiese sido posible.