

Selección de sitios de anidación por el águila real *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758) (Accipitriformes: Accipitridae) en Janos, Chihuahua, México

Nest-site selection by golden eagle *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758) (Accipitriformes: Accipitridae) in Janos, Chihuahua, Mexico

 ¹ISAAC MORALES-YAÑEZ,  ²RICARDO RODRÍGUEZ-ESTRELLA[†],
 ³*Ana Bertha GATICA-COLIMA

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ciencias Biomédicas. Departamento de Ciencias Veterinarias. Anillo Envoltente PRONAF y Estocolmo s/n, C.P. 32310, Cd. Juárez, Chihuahua, México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Av. Politécnico Nacional 195, Col. Playa Palo Santa Rita Sur, C.P. 23096, La Paz, Baja California Sur, México.

³Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Instituto de Ciencias Biomédicas. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal. Anillo Envoltente PRONAF y Estocolmo s/n, C.P. 32310, Cd. Juárez, Chihuahua, México.



Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)

*Autor correspondiente:

 Ana Bertha Gatica-Colima
agatica@uacj.mx

Editor responsable: Magdalena Cruz Rosales

Cómo citar:

Morales-Yañez, I., Rodríguez-Estrella, R., Gatica-Colima, A. B. (2023) Selección de sitios de anidación por el águila real *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758) (Accipitriformes: Accipitridae) en Janos, Chihuahua, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 39, 1–14.
10.21829/azm.2023.3912564
elocation-id: e3912564

Recibido: 22 agosto 2022

Aceptado: 07 enero 2023

Publicado: 01 febrero 2023

RESUMEN. El conocimiento sobre la selección de sitios de anidación en aves rapaces es uno de los factores críticos para realizar cualquier manejo de una población para su conservación. El águila real generalmente elige paredes de roca para anidar, y esta selección está influenciada por las características naturales y antrópicas del paisaje. En México el estudio del águila real es importante debido a que tiene un valor cultural por ser un símbolo patrio y biológico por regular las poblaciones de sus presas, además, se encuentra listada en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2010 en la categoría de amenazada y existe escasa información

científica publicada sobre su ecología y biología en nuestro país. Por ello, se elaboró un estudio que determinó las variables de hábitat que influyen en los patrones de selección de sitios de anidación del águila real en Janos, Chihuahua. Se buscaron sitios de anidación de águila real y sitios semejantes sin presencia de la especie para tomar los datos de dichas variables; con esta información se analizaron los datos a través de modelos lineales generalizados, tomando como variable de respuesta la presencia y ausencia de nidos y las características del hábitat de los sitios como variables predictoras. Se localizaron 15 sitios de anidación y 16 sitios sin nidos; de 15 variables medidas solo existió diferencia estadística significativa en la altura de las paredes de roca ($W = 44.5$, $p = 0.003001$). El modelo con mejor ajuste tuvo un valor de AICc de 20.6, explicando el 68% de la variabilidad de los datos e incluye las variables de altura de las paredes de roca y la rugosidad del terreno, siendo esta última estadísticamente significativa ($p = 0.0279$). La rugosidad del terreno y la altura de la pared de la roca que se presentaron en el mejor modelo reflejando la importancia de la topografía para la selección de sitios de anidación que puede proporcionar aislamiento de perturbaciones para las águilas.

Palabras clave: anidación; hábitat; rapaces, rapaz

ABSTRACT. Knowledge about the selection of nesting sites in birds of prey is essential to carry out any management of a population for its conservation. The golden eagle generally chooses rock walls to nest, and this selection is influenced by the natural and anthropic characteristics of the landscape. In Mexico, studying the golden eagle is important because it has a cultural value as a patriotic symbol and biological role regulating its prey populations. In addition, it is listed under the Official Mexican Norm 059-SEMARNAT-2010 in the category of threatened and there is little published scientific information on its ecology and biology in the country. Therefore, this study determined the habitat variables that influence the selection patterns of golden eagle nesting sites in Janos, Chihuahua; for which nesting sites and sites with similar characteristics without the presence of the golden eagle were located for its characterization. The obtained data was analyzed through generalized linear models, taking the presence and absence of nests as the response variable and the habitat characteristics of the sites as predictor variables. Fifteen nesting sites and sixteen sites without nests were located. Of 15 variables measured, there was only a statistically significant difference in the height of the rock walls ($W = 44.5$, $p = 0.003001$). The model with the best fit had an AICc value of 20.6, explaining 68% of the variability of the data and includes the variables of height of the rock walls and the roughness of the terrain, the latter being statistically significant ($p = 0.0279$). Terrain roughness was present in four of the top five candidate models reflecting the importance of topography for nest site selection that can provide isolation from disturbance for eagles.

Key words: nesting; habitat; raptors; raptor

INTRODUCCIÓN

Los impactos de carácter antrópico pueden producir fuertes cambios en los ecosistemas, ocasionando la pérdida de especies y hábitat (Watson *et al.*, 2016). Estos cambios han dado pie a la pérdida de individuos de aves rapaces en el mundo, resultando el 52 % de este grupo con declives poblacionales (McClure *et al.*, 2018) y en muchos casos con tendencias desconocidas por falta de estudios (McClure & Rolek, 2020). Esto afecta el equilibrio del ecosistema y sus servicios

(Gaston *et al.*, 2018; O'Bryan *et al.*, 2018), creando la urgencia de investigaciones que apoyen las acciones de conservación, no solo por el valor intrínseco y ecosistémico de la naturaleza, sino también por el beneficio económico que pueda brindar la biodiversidad al humano (Pearson, 2016).

En la actualidad, gracias al desarrollo de la tecnología, han aumentado en número las investigaciones en rapaces en torno a la telemetría satelital y la selección de hábitat (Sandgren *et al.*, 2014; Domenech *et al.*, 2015; Tikkanen *et al.*, 2018; Hixson *et al.*, 2022), y con ello se han hecho recomendaciones para el manejo del águila real y el hábitat asociado (Singh *et al.*, 2016), que apoyan su conservación. Sin embargo, a pesar de las acciones como el monitoreo constante de las poblaciones reproductoras a largo plazo, conteos aéreos de nidos, paros controlados de la generación de electricidad con turbinas eólicas o ubicaciones apropiadas de los campos, prohibición de uso de pesticidas y leyes que protegen específicamente a esta rapaz, la mortalidad de esta especie es alta y requiere de más trabajo, como tener encuestas de sitios de anidación a largo plazo en toda el área de distribución del águila, así como el conocimiento de las tendencias poblacionales de forma local, el registro satelital de la distribución de individuos residentes y la asignación de fondos de todos los niveles para investigación e implementación de estas acciones (Kochert & Steenhof, 2002; Katzner *et al.*, 2012).

El estudio de la selección de sitios de anidación permite entender la ecología del águila real (López-López *et al.*, 2007). El estudio de la selección de sitios de anidación considera la evaluación de las características físicas y ambientales de los lugares donde un ave decide construir un nido para reproducirse (Janes, 1985). El escoger un espacio de anidación puede estar influenciada por factores naturales presentes en el hábitat como: la topografía, vegetación, presas y clima, así como por atributos de origen antrópico, como carreteras, asentamientos humanos, zonas agrícolas, líneas eléctricas (Fuller, 2012; Smith *et al.*, 2017); ambos factores en conjunto pueden afectar el éxito reproductivo y la dispersión de las aves (Watson & Whitfield, 2002; D'Acunto *et al.*, 2018; Kochert *et al.*, 2019; Henderson *et al.*, 2021).

El área de conocimiento respecto a rapaces y la forma de seleccionar un sitio de anidación en Norteamérica ha sido relativamente poco estudiada, teniendo ejemplos con *Pandion haliaetus* (Petersen *et al.*, 2020), *Haliaeetus leucocephalus* (Smith *et al.*, 2017), *Buteo swainsoni* (England *et al.*, 1995), *Falco peregrinus* (Peck, 2018) y algunas siendo a resoluciones de paisaje, pero no en grandes águilas. En Europa la selección de sitios de anidación es un tema mayormente abordado con varias especies como: *Aquila adalberti* (González *et al.*, 1992; Bisson *et al.*, 2002), *Hieraetus fasciatus* (Gil-Sánchez *et al.*, 1996; Ontiveros, 1999) y *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758) en donde los resultados apuntan a que las águilas seleccionan los sitios para anidar respecto a las características topográficas (López-López *et al.*, 2007) que ofrecen mayor aislamiento, debido a que son altamente sensibles a las perturbaciones cercanas a los sitios de anidación (Whitfield *et al.*, 2004; Watson, 2010).

En México el águila real es importante debido a su valor cultural por ser un símbolo patrio (Leal *et al.*, 2017), y biológico por regular las poblaciones de sus presas (Donázar *et al.*, 2016). Se encuentra listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de amenazada (DOF, 2010), y existe escasa información científica publicada sobre su ecología y biología en nuestro país (Rodríguez-Estrella, 2002). En Janos, Chihuahua (MX), existe una población de águilas reales reproductoras que usan sitios para anidar, se espera, que los sitios seleccionados presenten atributos específicos que los hagan elegibles por las águilas; como paredes de roca altas, fuerte irregularidad topográfica (rugosidad del terreno) y amplia distancia a perturbaciones de origen antrópico.

Por lo cual, el objetivo de este estudio es identificar las características específicas del hábitat que se asocian a la nidificación del águila real dentro del municipio de Janos, Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El estudio se llevó a cabo en el municipio de Janos (Fig. 1), que se encuentra en el extremo noroeste del estado de Chihuahua con una extensión de 7,426.36 km² (SGGE, 2019). La topografía en Janos presenta pendientes menores al 5 %, que limita con la Sierra Madre Occidental, presentando rangos de altitud que van desde los 1,200 a 2,700 msnm (CONANP, 2013). El clima predominante en Janos es seco desértico y árido templado, teniendo de 200 a 500 mm anuales de precipitación (Rzedowski, 2006; CONANP, 2013) con veranos calientes, lluvias en abril y agosto, temperatura media anual de 15.7 °C, con una media de 6.0 °C en enero y una media de 26.1 °C en junio, llegando a existir inviernos de -15 °C y veranos de 50 °C (Rzedowski, 2006; CONANP, 2013).

Janos cuenta con tres tipos principales de vegetación (Fig. 1): pastizales en conjunto de grandes extensiones de matorrales en las zonas bajas y zonas boscosas en la parte de la Sierra Madre Occidental (Rzedowski, 2006). La fauna está representada por nueve especies de anfibios y 35 de reptiles, por ejemplo, *Anaxyrus debilis* y *Crotalus* sp., (Santos-Barrera *et al.*, 2008), 227 de aves (Manzano-Fischer *et al.*, 2006) y 74 especies de mamíferos como el bisonte americano (*Bison bison*), el perro llanero de cola negra (*Cynomys ludovicianus*) y la liebre de cola negra (*Lepus californicus*) (Pacheco *et al.*, 2000). El municipio presenta como actividades humanas principales la ganadería y la agricultura extensiva e intensiva, lo que ha disminuido la capacidad de carga del sistema (Pool, 2014).

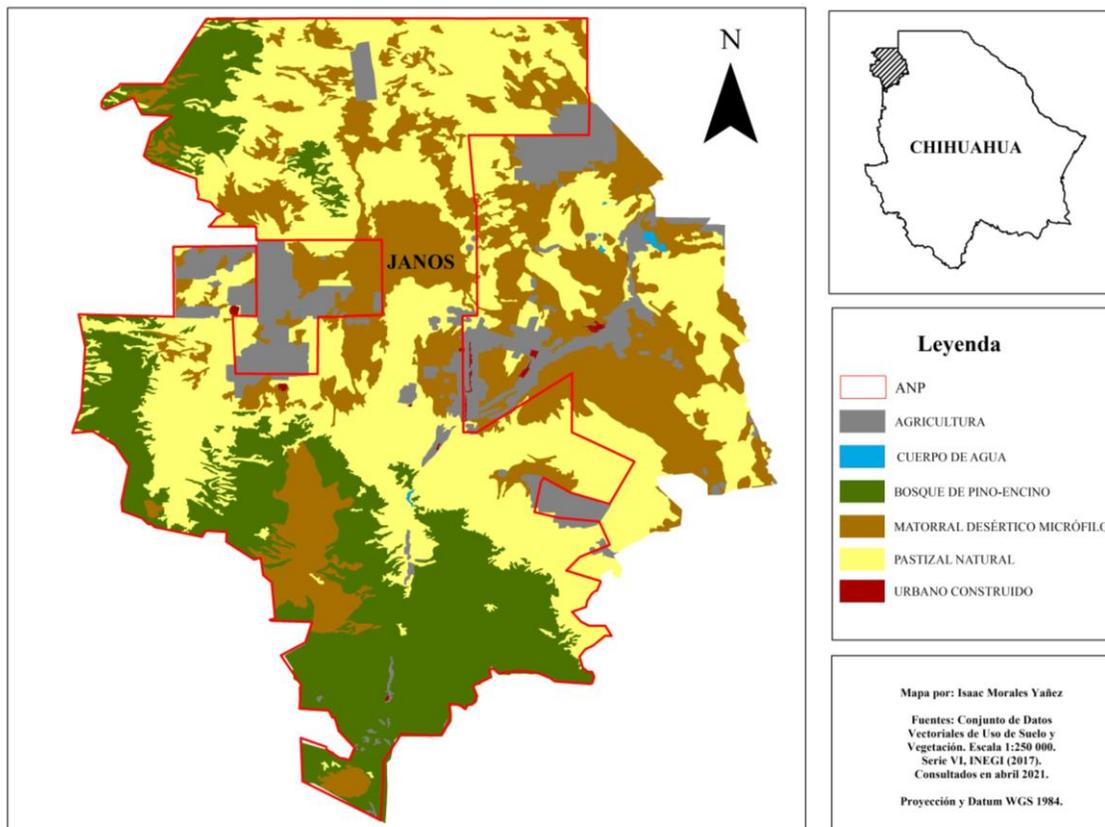


Figura 1. Área de estudio, municipio de Janos, Chihuahua, México, y tipos de vegetación.

Localización de nidos y sitios sin nido. Se realizaron dos o tres caminatas por día en las zonas montañosas (dependiendo de la extensión y características topográficas de cada predio) en cuatro salidas de campo con duración de 10 días durante la temporada reproductiva del águila (diciembre a mayo de 2021 y 2022); con ayuda de binoculares (Nikon A211, Nikon Corp, Japón) y telescopio (Tasco Word class, Tasco Corp. USA) se identificaron todos los nidos, así como a las aves para confirmar la presencia de la especie (Collopy, 1983; Bird & Bildstein, 2007). De igual forma, se ubicaron en zonas cercanas (misma montaña) o alejadas (distinta montaña), sitios que presentaron paredes de roca semejantes a los lugares donde sí hay nidos y con espacios donde las aves podrían nidificar, pero sin estas estructuras (González *et al.*, 1992; Gil-Sánchez *et al.*, 1996; Barrientos & Arroyo, 2014). Todos los sitios con o sin nidos fueron geoposicionados con un GPS (Garmin Etrex 10, Garmin Ltd. USA); los nidos dentro de la estructura (nido) y los sitios sin nido en la base de la pared de roca. Debido a que es una especie prioritaria en el país se evitó poner los puntos en mapas y coordenadas, sin embargo, la información sobre el geoposicionamiento fue proporcionada a las autoridades correspondientes en el informe del permiso de colecta.

Características del hábitat. Un total de 15 variables (Cuadro 1) se consideraron en este estudio. A nivel de los sitios se tomaron los datos que corresponde a la altura de la pared de roca medida desde la base (telémetro, Bushnell scout, Bushnell Corp, USA), la orientación de la pared (brújula estándar, genérica). A nivel de territorio (buffer 3.2 km) variables como, por ejemplo: cobertura vegetal y densidad de presas; finalmente a nivel de paisaje (buffer 12 km), variables que corresponden a características relacionadas a distancia de los sitios con respecto a estructuras o activadas de origen antrópico. Las variables a nivel de paisaje fueron calculadas con el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS 3.1 (ESRI Inc.) y los datos necesarios (archivo shapefile) se descargaron de bases de datos del portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) que representan: carreteras, caminos de terracería, tendidos eléctricos de alta tensión, áreas de cultivos y viviendas, todos obtenidos en la proyección Cónica de Lambert y misma escala (1:100,000). Se cargaron las capas en el SIG y recortaron tomando como margen el área de estudio (municipio de Janos, Chihuahua, México) para realizar las mediciones basadas en el geoposicionamiento de los sitios. Las variables de cobertura vegetal (variable 4) y densidad de presas (Lagomorfos, variable 5) fueron medidas a nivel de territorio o paisaje dependiendo del acceso y características topográficas de cada predio. Las variables de nivel de territorio o paisaje no son estrictamente de cada nivel, dependiendo de la configuración (localización en el municipio) de cada territorio, fueron medidas en nivel paisaje las de nivel de territorio, así como de nivel de territorio en el nivel de paisaje.

Para la cobertura vegetal, inicialmente (a nivel de paisaje) se realizó un transecto de 300 m de largo por dos de ancho cercano a un área perturbada, debido a que es donde se encuentra la mayor riqueza de especies por la acción humana (Bautista-Bello *et al.*, 2019), con ello se generó una curva de acumulación de especies. Basados en la curva inicial, se definió el largo (un total de 150 m por territorio) de los transectos para los territorios, los cuales fueron dispuestos en las áreas con mayor vegetación visible, de esta forma la distancia recorrida cubrió la mayoría de las especies vegetales en los sitios, dentro de estos transectos fue medida la cobertura vegetal para el análisis. Se consideraron solo los matorrales debido a que provén la cobertura a las presas potenciales del águila real, principalmente liebres y conejos (Desmond, 2004). Se realizaron tres transectos por territorio de anidación y sitio sin nido de 50 m de largo por 10 m de ancho, se midió con una cinta métrica la cobertura (diámetro 1 y diámetro 2) de cada planta dentro del transecto (Mostacedo &

Fredericksen, 2000), el arreglo de los transectos fue dirigido a las áreas con mayor vegetación o en áreas conocidas de forrajeo de las aves.

Cuadro 1. Descripción de variables utilizadas para caracterizar el hábitat de *Aquila chrysaetos* en Janos, Chihuahua, México.

Variables	Significado
Nivel de sitio	
1	Orientación de la pared donde está el nido o pared sin nido.
2	Altura de la pared de roca, medido desde la base (m).
3	Pendiente de la pared de roca (grados).
Nivel de territorio	
4	Porcentaje de la superficie cubierta por vegetación (cobertura vegetal).
5	Densidad de presas (lagomorfos).
6	Rugosidad del terreno. Número total de líneas de contorno de 20 m, cortadas por dos líneas diametrales en el área de muestreo en las direcciones N-S y E-W.
Nivel de paisaje	
7	Distancia del nido o pared entre otro territorio (Km).
8	Distancia del nido o pared al poblado más cercano (Km).
9	Distancia del nido o pared al área de cultivo más cercana (Km).
10	Distancia del nido o pared a la fuente de agua (bebedero de ganado) más cercana (Km).
11	Distancia del nido o pared al camino de terracería más cercano transitable por vehículo (Km).
12	Distancia del nido o pared a la carretera pavimentada más cercana (Km).
13	Kilómetros de caminos terracería en el área ("buffer" 3.2 km) de muestreo de sitios.
14	Kilómetros de líneas de energía eléctrica en el área ("buffer" 12 km) de muestreo.
15	Número de habitantes alrededor del nido (poblado más cercano).

Variables sugeridas por González *et al.* (1992) y Gil-Sánchez *et al.* (1996).

Respecto a la densidad de Lagomorfos, se realizaron conteos de presas aplicando el método de transectos en todos los sitios, específicamente en el área circundante a las paredes de roca o donde se conoce que es un coto de caza (Ballesteros, 2000; Codesido & Bilenca, 2000; De León-Girón, 2017). Se trazaron dos transectos de 1.0 km de largo, el cual se recorrió caminando y se hicieron los conteos de presas (visualmente) y se midió la distancia respecto a la línea del transecto (telémetro) a cada lado (De León-Girón, 2017). El horario de esta actividad se realizó al amanecer o atardecer debido a que es el momento de mayor actividad de lagomorfos (Ruíz-Campos & Guevara-Carrizales, 2014).

Análisis estadísticos. Se realizaron análisis descriptivos a las 15 variables (sitios con nido y sitios sin nido) obteniendo las medias, Error Estándar (EE) y la diferencia entre los conjuntos de datos; para ello se aplicaron comparaciones estadísticas paramétricas (t Student) o no paramétricas (U Mann-Whitney-Wilcoxon) según se cumplieron los supuestos de normalidad.

Para la estimación de la densidad de presas (datos de conteos de presas y su distancia), se utilizó la librería de Distance para R (versión 4.0.0, R Core Team, 2016), la cual utiliza la ecuación basada en el número de animales detectados por la función probabilística de densidad a cero metros de distancia, entre el largo total de transecto (Burnham *et al.*, 1980; Buckland *et al.*, 1993); en el caso de la cobertura vegetal, se calculó con la sumatoria de las áreas de las plantas dentro del transecto entre el área total muestreada por cien (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

Para definir las variables de importancia para la anidación de las águilas reales, se realizaron Modelos Lineales Generalizados (GLM) binomiales (Burnham & Anderson, 2002; Dunn & Smyth, 2018), usando como variable de respuesta la presencia y ausencia de nidos, y como variables predictoras las características del hábitat resumidas en el cuadro 1 utilizando el programa R.

Para seleccionar el modelo más parsimonioso, se eliminaron las variables con menor significancia en los modelos, reteniendo el modelo con la máxima desviación explicativa, para lo que se aplicó el criterio de Akaike para tamaño de muestras pequeñas (AICc) (Burnham & Anderson, 2002; Burnham *et al.*, 2011) y para evaluar el modelo se utilizó la prueba de Hosmer-Lemeshow, una matriz de confusión y el área bajo la curva (Hosmer *et al.*, 2013).

RESULTADOS

Se ubicaron 15 sitios de anidación y 16 sitios sin nidos. Solo existió diferencia estadísticamente significativa en la altura de las paredes de roca (variable 2) con un valor $p = 0.0030$ en la prueba de U Mann-Whitney-Wilcoxon (Cuadro 2).

Se realizaron 110 modelos, incluido el modelo con todas las variables predictoras presentando el número más alto de AICc (62). El mejor modelo basado en criterio de Akaike (AICc = 20.60) fue el modelo con las variables de altura de pared y la irregularidad topográfica o rugosidad del terreno (var 14), siendo solo está significativa ($p < 0.05$) (Cuadro 3).

Cuadro 2. Variables medidas en la caracterización del hábitat de *Aquila chrysaetos* en Janos, Chihuahua, México. La variable 1 (orientación de la pared) al ser categórica con diferentes niveles, solo se consideró el promedio de la orientación.

Variable	Sitios con nido		Sitios sin nido		Significancia
	Media	Error estándar	Media	Error estándar	
1	0.4 s-e	na	0.3 s-o	na	na
2	20.9	2.3	52.2	8.1	$p = 0.0030$
3	61.3°	3.3	58.8	2.3	$p = 0.7368$
4	11.3	1.1	13.6	1.5	$p = 0.3577$
5	21.8	4.0	16.7	2.8	$p = 0.1840$
6	115.1	10.9	103.2	11.6	$p = 0.5142$
7	19.4	1.6	18.9	0.9	$p = 0.7072$
8	3.3	0.3	3.0	0.4	$p = 0.9224$
9	5.7	0.4	5.0	0.43	$p = 0.2651$
10	2.0	0.24	2.4	0.17	$p = 0.2314$
11	2.0	0.41	2.3	0.34	$p = 0.5453$
12	9.7	0.73	8.0	0.79	$p = 0.1294$
13	6.1	1.5	5.0	0.7	$p = 0.8262$
14	8.7	2.1	18.5	4.6	$p = 0.0921$
15	757	179	1243	282	$p = 0.2440$

El mejor modelo presenta una devianza residual de 13.711 (devianza nula 42.943), explicando el 68 % de la variabilidad de los datos. Los coeficientes del modelo (Cuadro 4) y razón de momios muestran que hay mayor probabilidad de anidación cuando aumenta la rugosidad del terreno y cuando disminuye la altura de pared.

La prueba de Hosmer-Lemeshow demostró un buen ajuste del modelo ($\chi^2 = 6.97$, g.l. = 8, $p = 0.53$) y presenta un área bajo la curva de 0.95, siendo la predicción del modelo del 90 %.

Las variables bióticas de densidad de presas y cobertura vegetal no fueron diferentes entre los conjuntos de datos (Cuadro 2) y tampoco aparecieron en los mejores modelos candidatos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cinco mejores Modelos Lineales Generalizados (GLMs), de sitios con nidos contra sitios sin nidos con características de anidación y sin presencia de nidos y aves. Los modelos están listados según el criterio de Akaike ajustado para muestras pequeñas (AICc), y se muestra el número de parámetros (K), diferencia del modelo con el modelo de menor AICc ($\Delta AICc$) y el peso de modelo (w).

Modelos candidatos	K	AICc	$\Delta AICc$	w
Rugosidad*, Altura pared	3	20.60	0	0.59
Rugosidad*, Altura pared, Distancia a entre sitios	4	22.92	2.32	0.18
Rugosidad*, Altura pared*, Distancia a carreteras	4	23.09	2.48	0.17
Rugosidad*, Altura pared, Distancia a carreteras, Distancia a entre sitios	5	25.59	4.99	0.05
Pendiente, Altura pared*	3	32.54	11.94	0.00

*Variables significativas en modelo ($p < 0.05$).

Cuadro 4. Análisis de estimación de la Máxima Verosimilitud de mejor modelo.

Parámetro	Estimación	Error estándar	valor de Z	Pr(> z)
(Intercepto)	-2.15359	2.1797	-0.988	0.3231
Altura pared	-0.28777	0.15938	-1.806	0.0710
Rugosidad	0.09957	0.04528	2.199	0.0279

DISCUSIÓN

La selección de un sitio para anidar por parte de las águilas reales que se reproducen en Janos Chihuahua está dada por la rugosidad del terreno y la altura de las paredes de roca con un 90 % de probabilidad, cumpliéndose parcialmente la hipótesis planteada, debido a que solo fueron dos variables los atributos de importancia para la selección de sitios de anidación y no siendo significativas en ningún modelo las variables relacionadas a actividades antrópicas. El resultado general es similar a lo observado en España con el águila real, en donde la selección de sitios de anidación también está dada por las características topográficas (pendiente y altitud), encontradas en su mejor modelo (López-López *et al.*, 2007). En el sur de Nevada, EUA, la elevación, pendiente, distancia a caminos y distancia a cuerpos de agua, son las variables que explican mejor la selección de sitios de anidación del águila real (Weber, 2015). Los datos y resultados no son exactamente comparables, con el presente estudio y los anteriores comentados por la diferencia en la configuración geográfica de cada área de estudio, variables usadas, escalas y metodologías

usadas; ya que los autores usan diferentes combinaciones de variables, número de variables, así como en la forma de recabar los datos (campo y/o SIG), si se coincide en que los aspectos de la topografía son los factores abióticos relacionados directamente con la selección de estos lugares por parte de las águilas para construir sus nidos.

De igual manera, y solo por comparación por el tamaño, la dieta de las especies o por la tendencia rupícola, los resultados del mejor modelo son similares respecto a otras especies de rapaces; por ejemplo se ha reportado que la selección de los sitios de anidación del águila imperial española (*Aquila adalberti*) está dada por la distancia a carreteras y la rugosidad del terreno (González *et al.*, 1992); el águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*) en Granda (España) selecciona sus sitios basada en la distancia al centro urbano más cercano y la rugosidad del terreno (Gil-Sánchez *et al.*, 1996), y lo reportado también para el águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*) en el Sureste de España, que selecciona los sitios basada en la altura de las paredes de roca y la pendiente (Ontiveros, 1999).

Los aspectos de la topografía (rugosidad, pendiente y altura) que seleccionan las aves podrían estar relacionados a la alta sensibilidad de la especie a la perturbación (Watson, 2010; Steenhof *et al.*, 2014; Djorgova *et al.*, 2021), por lo que buscan lugares inaccesibles que les otorguen menor riesgo al momento de anidar, presentándose un comportamiento semejante en grandes águilas como la *Aquila adalberti* (González *et al.*, 1992; Bisson *et al.*, 2002), *Hieraetus fasciatus* (Gil-Sánchez *et al.*, 1996; Ontiveros, 1999) y la *Haliaeetus leucocephalus* (Smith *et al.*, 2017), debido a que las perturbaciones cercanas a los sitios de anidación puede traer repercusiones al éxito reproductivo (Steenhof *et al.*, 2014; Spaul & Heath, 2016) y a que la mayoría de características del hábitat que están relacionadas con estructuras o actividades de origen antrópico, pueden significar algún riesgo para el águila real (Watson, 2010).

También se debe tener en cuenta que en la presente investigación se realizó el primer acercamiento en México para determinar qué características físicas (abióticas) y dos componentes bióticos del hábitat adyacente a los sitios de anidación del águila real, variables que los hacen elegibles para la construcción de nidos, siendo importantes los componentes abióticos (altura de la pared y rugosidad del terreno), sin embargo, en el trabajo no se consideraron variables climatológicas que también son importantes para la anidación y el éxito reproductivo del águila real (Kochert *et al.*, 2019; Henderson *et al.*, 2021), en especial a una escala microclimática, ya que podrían ser igual o de mayor importancia para las aves rupícolas, como para las aves que anidan en el suelo (Carroll *et al.*, 2020). Por lo anterior, la combinación de información del presente estudio con aspectos de microclima en el nido, nos conduciría de mejor forma a entender los factores que llevan al águila real a elegir un sitio para construir su nido y reproducirse.

Por último, las variables bióticas de densidad de presas y cobertura vegetal no fueron atributos importantes para la selección de sitios de anidación del águila real en Janos, siendo un resultado similar a lo reportado en otras aves rapaces, probablemente la cobertura vegetal y la densidad de presas están más relacionadas entre sí que la selección de sitios (Gil-Sánchez *et al.*, 1996; González *et al.*, 1992; Bisson *et al.*, 2002; López-López *et al.*, 2007), ya que el águila puede desplazarse grandes distancias en busca de alimento (Watson, 2010; Miller *et al.*, 2017). La información aquí presentada sobre la selección de sitios de anidación del águila real en Janos, contribuye al conocimiento de la especie y podría apoyar el manejo de las áreas con las características examinadas, dando bases científicas sólidas que ayuden a dirigir las acciones de conservación y los recursos que conlleven a la permanencia de la especie en la región.

AGRADECIMIENTOS. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de maestría otorgada. A la CONANP Reserva de la Biósfera de Janos y propietarios de los predios en Janos que permitieron explorar y realizar el trabajo en campo. A Gabriela D., Álvaro T. y Alejandro R. por su gran apoyo a este trabajo en escritorio y campo, sin ustedes no hubiera sido posible. A dos revisores anónimos por sus valiosas observaciones. Y finalmente con profundo agradecimiento, dedicamos este manuscrito a no solo un gran investigador y mentor, sino también un gran amigo, Ricardo R. E. (QEPD).

LITERATURA CITADA

- Ballesteros, F. (2000) Técnicas aplicables para la estimación y monitorización de la abundancia de la liebre de pisorral (*Lepus castroviejoii*). *Naturalia Cantabrigiae*, 1, 45–51. Disponible en: <https://www.indurot.uniovi.es/actividad/publicaciones/naturalia/numero1> (consultado 02 febrero 2022).
- Barrientos, R., Arroyo, B. (2014) Nesting habitat selection of Mediterranean raptors in managed pinewoods: Searching for common patterns to derive conservation recommendations. *Bird Conservation International*, 24, 138–151.
<https://doi.org/10.1017/S0959270913000270>
- Bautista-Bello, A. P., López-Acosta, J. C., Castillo-Campos, G., Gómez-Díaz, J. A., Krömer, T. (2019) Diversity of shrubs along gradients of elevation and disturbance in central Veracruz, Mexico. *Acta Botánica Mexicana*, 126, e1369.
<https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1369>
- Bird, D. M., Bildstein, K. L. (2007) *Raptor research and management techniques*. Hancock House Publishers, WA, U.S.A, 464 pp.
- Bisson, I. A., Ferrer, M., Bird, D. M. (2002) Factors influencing nest-site selection by Spanish Imperial Eagles. *Journal of Field Ornithology*, 73, 298–302.
<https://doi.org/10.1648/0273-8570-73.3.298>
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L. (1993) *Distance sampling. Estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall. London, U.K., Springer, 446 pp.
- Burnham, K. P., Anderson, D. R. (2002) *Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach (Second Ed)*. New York: Springer, 606 pp.
<https://doi.org/10.2307/3803117>
- Burnham, K. P., Anderson, D. R., Huyvaert, K. P. (2011) AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: Some background, observations, and comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65, 23–35.
<https://doi.org/10.1007/s00265-010-1029-6>
- Burnham, K. P., Anderson, D. R., Laake, J. L. (1980) Estimation of density from line transect sampling of biological population. *Wildlife Monographs*, 72, 3–202.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Carroll, R. L., Davis, C. A., Fuhlendorf, S. D., Elmore, R. D., Carroll, J. M. (2020) Orientation affects nest temperature of ground-nesting birds. *Wilson Journal of Ornithology*, 132, 83–90.
<https://doi.org/10.1676/1559-4491-132.1.83>
- Codesido, M., Bilencia, D. N. (2000) Comparación de los métodos de transectas de faja y de conteo de puntos de radio fijo en una comunidad de aves del bosque semiárido santiagueño. *El Hornero*, 015, 085–091. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12110/hornero_v015_n02_p085 (consultado 15 agosto 2022).

- Collopy, M. W. (1983) A comparison of direct observation and collection of prey remains in determining the diet of Golden Eagle. *Journal of Wildlife Management*, 47, 360–368.
<https://doi.org/10.2307/3808508>
- CONANP (Comisión nacional de áreas naturales protegidas) (2013) Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Janos. México, DF. Disponible en: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=26®=3> (consultado 10 enero 2022).
- D'Acunto, L. E., Spaul, R. J., Heath, J. A., Zollner, P. A. (2018) Simulating the success of trail closure strategies on reducing human disturbance to nesting Golden Eagles. *The Condor*, 120, 703–718.
<https://doi.org/10.1650/condor-17-223.1>
- De León-Girón, G. (2017) Abundancia, ecología reproductiva, dieta, uso de hábitat y amenazas del águila real (*Aquila chrysaetos canadensis*) en Baja California, México. Propuestas para su conservación. Tesis doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Desmond, M. J. (2004) Habitat associations and co-occurrence of Chihuahuan desert hares (*Lepus californicus* and *L. callotis*). *American Midland Naturalist*, 151, 414–419.
[https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2004\)151\[0414:HAACOC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2004)151[0414:HAACOC]2.0.CO;2)
- Djorgova, N., Ragyov, D., Biserkov, V., Biserkov, J., Nikolov, B. P. (2021) Habitat preferences of diurnal raptors in relation to human access to their breeding territories in the Balkan Mountain Range, Bulgaria. *Avian Research*, 12, 1–10.
<https://doi.org/10.1186/s40657-021-00265-6>
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2010) NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Disponible en: <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat2010#:~:text=Esta%20Norma%20Oficial%20Mexicana%20tiene,riesgo%20para%20las%20especies%20o> (consultado 10 enero 2022).
- Domenech, R., Bedrosian, B. E., Crandall, R. H., Slabe, V. A. (2015) Space use and habitat selection by adult migrant Golden Eagles wintering in the western United States. *Journal of Raptor Research*, 49, 429–440.
<https://doi.org/10.3356/rapt-49-04-429-440.1>
- Donázar, J. A., Cortés-Avizanda, A., Fargallo, J. A., Margalida, A., Moleón, M., Morales-Reyes, Z., Serrano, D. (2016) Roles of raptors in a changing world: From flagships to providers of key ecosystem services. *Ardeola*, 63, 181–234.
<https://doi.org/10.13157/arla.63.1.2016.rp8>
- Dunn, P. K., Smyth, G. K. (2018) *Generalized Linear Models With Examples in R*. Springer, New York, 557 pp.
- England, A. S., Estep, J. A., Holt, W. R. (1995) Nest-site selection and reproductive performance of urban-nesting Swainson's in the central of California. *The Journal of Raptor Research*, 29, 179–186.
- Fuller, R. J. (2012) *The bird and its habitat: an overview of concepts*. Pp. 3–36. En: Fuller, R. J. (Ed.). *Birds and Habitat: Relationships in Changing Landscapes*. New York, Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/cbo9781139021654.003>
- Gaston, K. J., Cox, D. T. C., Canavelli, S. B., García, D., Hughes, B., Maas, B., Inger, R. (2018) Population abundance and ecosystem service provision: The Case of Birds. *BioScience*, 68, 264–272.

- <https://doi.org/10.1093/biosci/biy005>
- Gil-Sánchez, J. M., Garrido, F. M., Serrano, G. V. (1996) Selección de hábitat de nidificación por el Águila Perdiguera (*Hieraaetus Fasciatus*) en Granada (España). *Ardeola*, 43, 189–197.
- González, L. M., Bustamante, J., Hiraldo, F. (1992) Nesting habitat selection by the Spanish imperial eagle (*Aquila adalberti*). *Biological Conservation*, 59, 45–50.
[https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)90712-V](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)90712-V)
- Henderson, M. T., Booms, T. L., Robinson, B. W., Johnson, D. L., Aderson, D. L. (2021) Direct and indirect effects of nesting sites characteristics for a cliff-nesting raptor in western Alaska. *Journal of Raptor Research*, 55, 17–32.
<https://doi.org/10.3356/0892-1016-55.1.17>
- Hixson, K. M., Slater, S. J., Knight, R. N., Lonsinger, R. C. (2022) Seasonal variation in resource selection by subadult Golden Eagles in the Great Basin Desert. *Wildlife Biology*, 1–14.
<https://doi.org/10.1002/wlb3.01002>
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S., Sturdivant, R. (2013) *Applied logistic regression (3 rd)*. New Jersey, Wiley, 479 pp.
- Janes, S. W. (1985) *Habitat selection in raptorial birds*. Pp. 159–188. En: Cody M. L. (Ed.). *Habitat selection in birds*. New York, Academic Press.
- Katzner, T., Smith, B. W., Miller, T. A., Brandes, D., Cooper, J., Lanzone, M., Bildstein, K. L. (2012) Status, biology, and conservation priorities for North America's eastern Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) population. *The Auk*, 129, 168–176.
<https://doi.org/10.1525/auk.2011.11078>
- Kochert, M. N., Steenhof, K. (2002) Golden Eagles in the U.S. and Canada: status, trends, and conservation challenges. *Journal of Raptor Research*, 36, 32–40.
- Kochert, M. N., Steenhof, K., Brown, J. L. (2019) Effects on nest exposure and spring temperatures on Golden eagle brood survival: an opportunity for migration. *Journal of Raptor Research*, 53, 1–8.
- Leal, C. G., Kermez, J. S., Wright Carr, D. C. (2017) *Escudo nacional: flora, fauna y biodiversidad*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Museo Nacional de Antropología, 479 pp.
- López-López, P., García-Ripollés, C., Soutullo, A., Cadahía, L., Urios, V. (2007) Identifying potentially suitable nesting habitat for golden eagles applied to "important bird areas" design. *Animal Conservation*, 10, 208–218.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2006.00089.x>
- Manzano-Fischer, P., List, R., Ceballos, G., Cartron, J.-L. E. (2006) Avian diversity in a priority area for conservation in North America: the Janos-Casas Grandes prairie dog complex and adjacent habitats in northwestern México. *Biodiversity and Conservation*, 15, 3801–3825.
<https://doi.org/10.1007/s10531-005-5408-7>
- McClure, C. J. W., Rolek, B. W. (2020) Relative conservation status of bird orders with special attention to raptors. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 1–7.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2020.593941>
- McClure, C. J. W., Westrip, J. R. S., Johnson, J. A., Schulwitz, S. E., Virani, M. Z., Davies, R., Butchart, S. H. M. (2018) State of the world's raptors: Distributions, threats, and conservation recommendations. *Biological Conservation*, 227, 390–402.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.08.012>

- Miller, T. A., Brooks, R. P., Lanzone, M. J., Cooper, J., O'Malley, K., Brandes, D., Duerr A., Katzner, T. E. (2017) Summer and winter space use and home range characteristics of Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) in eastern North America. *The Condor*, 119, 697–719.
<https://doi.org/10.1650/condor-16-154.1>
- Mostacedo, B., Fredericksen, T. (2000) *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz, Bolivia: BOLFOR, 82 pp.
<https://doi.org/10.1080/01443610410001722590>
- O'Bryan, C. J., Braczkowski, A. R., Beyer, H. L., Carter, N. H., Watson, J. E. M., McDonald-Madden, E. (2018) The contribution of predators and scavengers to human well-being. *Nature Ecology and Evolution*, 2, 229–236.
<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0421-2>
- Ontiveros, D. (1999) Selection of nest cliffs by Bonelli's Eagle (*Hieraetus fasciatus*) in southeastern Spain. *Journal of Raptor Research*, 33, 110–116.
- Pacheco, J., Ceballos, G., List, R. (2000) Los mamíferos de la región de Janos-Casas Grandes, Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 4, 69–83.
<https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.1999.4.1.82>
- Pearson, R. G. (2016) Reasons to conserve nature. *Trends in Ecology and Evolution*, 31, 366–371.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.005>
- Peck, K., Franke, A., Lecomte, N., Bêty, J. (2018) Nesting habitat selection and distribution of an avian top predator in the Canadian arctic. *Arctic Science*, 4, 499–512.
<https://doi.org/10.1139/as-2017-0048>
- Petersen, K. L., Hogg, S., Englund, J. V. (2020) Nest-site selection and nesting success in a restored population of ospreys (*Pandion haliaetus*) in the Minneapolis-St. Paul, Minnesota (USA) area. *Journal of Raptor Research*, 54, 245–254.
<https://doi.org/10.3356/0892-1016-54.3.245>
- Pool, D. B., Panjabi, A. O., Macias-Duarte, A., Solhjem, D. M. (2014) Rapid expansion of croplands in Chihuahua, Mexico threatens declining North American grassland bird species. *Biological Conservation*, 170, 274–281.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.019>
- Rodríguez-Estrella, R. (2002) A survey of golden eagles in northern Mexico in 1984 and recent records in central and southern Baja California peninsula. *Journal of Raptor Research*, 36, 3–9.
- Ruiz-Campos, G., Guevara-Carrizales, A. A. (2014) Manual de técnicas selectas para la evaluación de poblaciones de fauna silvestre de interés cinético en Baja California. Universidad autónoma de Baja California. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/270883627> (consultado 02 octubre 2021).
- Rzedowski, J. (2006) *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 1ra. Edición digital. (1ra. Ed). Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf (consultado 10 octubre 2021).
- Sandgren, C., Hipkiss, T., Dettki, H., Ecke, F., Hörnfeldt, B. (2014) Habitat use and ranging behaviour of juvenile Golden Eagles *Aquila chrysaetos* within natal home ranges in boreal Sweden. *Bird Study*, 61, 9–16.
<https://doi.org/10.1080/00063657.2013.857387>
- Santos-Barrera, G., Pacheco, J., Ceballos, G. (2008) Amphibians and reptiles associated with the prairie dog grasslands ecosystem and surrounding areas at the Janos Casas Grandes

- complex, northwestern Chihuahua, Mexico. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 24, 125–136.
<https://doi.org/10.21829/azm.2008.243912>
- SGGE (Secretaría General de Gobierno del Estado) (2019) Plan municipal de desarrollo 2018-2021, Municipio de Janos (Folleto Anexo). Periódico Oficial Del Estado de Chihuahua.
- Singh, N. J., Moss, E., Hipkiss, T., Ecke, F., Dettki, H., Sandström, P., Hörnfeldt, B. (2016) Habitat selection by adult Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) during the breeding season and implications for wind farm establishment. *Bird Study*, 63, 233–240.
<https://doi.org/10.1080/00063657.2016.1183110>
- Smith, N. R., Hess Jr., T. J., Afton, A. D. (2017) Nest-site selection and success of Louisiana Bald Eagles. *Southeastern Naturalist*, 16, 343–361.
<https://doi.org/10.1656/058.016.0320>
- Spaul, R. J., Heath, J. A. (2016) Nonmotorized recreation and motorized recreation in shrub-steppe habitats affects behavior and reproduction of golden eagles (*Aquila chrysaetos*). *Ecology and Evolution*, 6, 8037–8049.
<https://doi.org/10.1002/ece3.2540>
- Steenhof, K., Brown, J. L., Kochert, M. N. (2014) Temporal and spatial changes in golden eagle reproduction in relation to increased off highway vehicle activity. *Wildlife Society Bulletin*, 38, 682–688.
<https://doi.org/10.1002/wsb.451>
- Tikkanen, H., Rytkönen, S., Karlin, O. P., Ollila, T., Pakanen, V. M., Tuohimaa, H., Orell, M. (2018) Modelling golden eagle habitat selection and flight activity in their home ranges for safer wind farm planning. *Environmental Impact Assessment Review*, 71, 120–131.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.006>
- Watson, J. (2010) *The Golden Eagle*. London U.K. T and A. D. Poyser, 448 pp.
- Watson, J. E. M., Jones, K. R., Fuller, R. A., Marco, M. D., Segan, D. B., Butchart, S. H. M., Allan, J. R., McDonald-Madden, E., Venter, O. (2016) Persistent disparities between recent rates of habitat conversion and protection and implications for future global conservation targets. *Conservation Letters*, 9, 413–421.
<https://doi.org/10.1111/conl.12295>
- Watson, J., Whitfield, D. P. (2002) A conservation framework for the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) in Scotland. *Journal of Raptor Research*, 36, 41–49.
- Weber, S. A. (2015) Golden Eagle nest site selection and habitat suitability. Tesis de maestría. Texas State University.
- Whitfield, D. P., Fielding, A. H., McLeod, D. R. A., Haworth, P. F. (2004) The effects of persecution on age of breeding and territory occupation in golden eagles in Scotland. *Biological Conservation*, 118, 249–259.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.09.003>