

Productividad, fecha de puesta y sex-ratio del águila de Bonelli (*Aquila fasciata*) en el alto valle del Ebro (España): influencia de la gestión en los cambios demográficos.

Productivity, laying date and sex/ratio of Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in the upper Ebro valley (Spain): influence of management in demographic changes.

Carmelo Fernández^{1*}, Paz Azkona², Marta Olalde³



Resumen

Se analizan los parámetros reproductivos y la fecha de puesta deducida de la monitorización entre 1989 y 2025 de los 14 territorios de águila de Bonelli (*Aquila fasciata*) existentes en el alto valle del Ebro: Navarra (n=5), La Rioja (n=6) y Álava-Araba (n=3). La productividad media deducida a partir de 196 reproducciones controladas es de 0.59 pollos/pareja.año y la tasa de vuelo de 1.51 pollos/nidada con éxito (n=76). Se aprecia una progresiva disminución de la productividad y de la tasa de vuelo, que han pasado de 0.98 pollos/pareja.año en 1989-2000, a 0.53 pollos/pareja.año entre 2001-13 y a 0.31 en 2014-25, así como un incremento de la proporción de subadultos en las parejas reproductoras (4.4 % vs. 7.0 % vs. 22.6 %). La baja productividad encontrada, inferior a la del resto de la Península, se debe principalmente al alto número de parejas que no inician la reproducción (33.6 %), mientras que la tasa de vuelo es similar a la de otras regiones circunmediterráneas. El 10.0 % de los ejemplares territoriales (n=462) eran subadultos. La fecha media de la primera puesta se sitúa en el 24 de febrero ($\sigma=8.7$, n=113) oscilando entre el 3 de febrero y el 18 de marzo. Se han comprobado tres puestas de sustitución, que suponen el 1.5 % de las reproducciones controladas y el 7.0 % de los fracasos durante la incubación. Entre

¹ Asesor externo del Gobierno de La Rioja. <https://orcid.org/0009-0008-3247-5541>

² Asesora externa del Gobierno de Navarra

³ Servicio de Patrimonio Natural de la Diputación foral de Álava

* correspondencia: carmelofernandezleon@gmail.com



2002 y 2025 se han sexado por biometría y ADNm un total de 34 pollos volantones, resultando ser 17 machos y 17 hembras. Uno de los pollos machos murió durante la crianza, de forma que el *sex-ratio* al vuelo fue de 0.97 machos/hembra. Todos los sexajes *in situ* fueron corroborados por los análisis de ADNm, lo que demuestra la eficacia del sexaje por biometría. Se discute el efecto que las medidas aplicadas dentro de los planes de recuperación regionales y que los proyectos LIFE de la UE han podido tener sobre la productividad del águila de Bonelli en el alto valle del Ebro.

Palabras clave: Águila-azor perdicera, *Hieraaetus fasciatus*, éxito reproductor, fenología reproductiva, puestas de sustitución, sexo de volantones, descenso de la productividad, declive poblacional, reforzamiento poblacional.

Abstract

This study analyses the reproductive parameters and egg-laying dates based on monitoring data collected between 1989 and 2025, from the 14 territories of Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*) located in the upper Ebro Valley: Navarre (n=5), La Rioja (n=6), and Álava-Araba (n=3). The average productivity, derived from 196 monitored breeding events, is 0.59 chicks per pair and year, and the fledging rate is 1.51 chicks per successful nest (n=76). There has been a gradual decline in productivity and breeding success, with the number of chicks per breeding pair and year decreasing from 0.98 in 1989-2000, to 0.53 in 2001-2013, and to 0.31 in 2014-2025. Simultaneously, the proportion of subadult birds in breeding pairs has increased (from 4.4% to 7.0% and then to 22.6%). The low productivity observed, which is lower than in other parts of the Iberian Peninsula, is mainly due to the high number of pairs that do not initiate breeding (33.6%), while the fledging rate is similar to that of other Mediterranean regions. 10.0% of the territorial birds (n=462) were subadults. The average date for the first egg-laying was February 24th ($\sigma=8.7$, n=113), ranging from February 3rd to March 18th. Three instances of replacement clutches were observed, representing 1.5% of monitored breeding events and 7.0% of incubation failures. A total of 34 chicks have been sexed by biometry and DNAm throughout 2002-2025; 17 were male and 17 were female. One of the male chicks died during the rearing period, so the sex ratio at fledging was 0.97 males per female. All sex determinations performed on site were confirmed by DNA analysis, demonstrating the effectiveness of biometric sex determination. This article discusses the impact that measures implemented within regional recovery plans and EU LIFE projects may have had on the breeding success of the Bonelli's Eagle in the Upper Ebro Valley.

Key words: *Hieraaetus fasciatus*, Spain, breeding success, reproductive phenology, replacement clutches, sex-ratio of fledglings, decline in productivity, population decline, population reinforcement.

Laburpena

1989 eta 2025 urteen artean monitorizatutako Bonelli arranoaren (*Aquila fasciata*) ugal-keta-parametroak eta ondorioztatutako errunaldi data analizatzen dira, Ebroko Goi Iba-

rean existitzen diren espeziearen 14 lurraldeetan: Nafarroa (n=5), Errioxa (n=6) eta Araba (n=3). Kontrolatutako 196 ugalketatik ondorioztatutako batezbesteko produktibitatea 0.59 txita/bikoteko da eta arrakasta izan dutenen hegaldi-tasa 1.51 txita/arrautza-multzoko (n=76). Produktibitatearen eta hegaldi-tasaren murrizketa progresiboa hautematen da: 1989-2000 artean 0.98 txita/bikote.urte zeuden, 0.53 txita/bikote.urte 2001-13 artean eta 0.31 2014-25 artean. Era berean, ugaltzen diren bikoeetan, gazteen proportzioak gora egin du (%4.4 vs. %7.0 vs. %22.6). Penintsulako beste lurraldeetan baino baxuagoa den produktibitate txikia, ugalketa hasten ez duten bikoteen proportzio handiak eragiten du (%33.6). Hegaldi-tasa ostera, eremu mediterraneoko beste lurralde batzuetan agertzen denaren antzekoa da. Ale lurraldekoiak %10.0 (n=462), gazteak ziren. Lehen errunaldiaren batezbesteko data, otsailaren 24a da ($\sigma=8.7$, n=113) eta otsailaren 3a eta martxoaren 18aren artean dabil. Hiru ordezkatze errunaldi behatu dira, kontrolatutako ugalketen %1.5 eta inkubazioan zeharreko porrotak %7.0. 2002 eta 2025 urteen artean, biometria eta DNAm erabilia, 34 txita gazteren sexua zehaztu da: 17 arrak ziren eta beste 17ak berriz, emeak.

Txita ar bat hazten ari zenean hil zen eta, hortaz, hegaldi sex-ratioa 0.97 ar/emekoa izan zen. In situ burututako sexu zehaztapenak, DNAm bidez egindako analisiek berretsi zituzten, biometria erabilia egindako sexuaren zehaztapenaren eraginkortasuna frogatuz. Ebroko Goi Ibarrean Bonelli arranoaren produktibitatean Eskualdekako berreskurapen planen zein EBko LIFE proiektuen testuinguruan aplikatutako neurrien eragina eztabaidatzen da.

Gako hitzak: Bonelli arranoa, *Hieraetus fasciatus*, ugalketa-arrakasta, ugalketaren fenologia, ordezkatze errunaldiak, txorikumeen sexua, produktibitatearen jaitziera, populazioaren gainbehera, populazioaren indartzea.



Introducción

El águila de Bonelli o águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) es una especie muy escasa en el norte de la península Ibérica y, tras el declive a finales del siglo XX, ha quedado reducida a territorios más o menos aislados en el alto valle del Ebro (Del Moral y Molina 2018). En las comunidades autónomas de La Rioja, Álava-Araba y Navarra está catalogada como especie en peligro de extinción y se han puesto en marcha planes de recuperación (Decreto Foral 15/1996, Decreto 19/1999 y Orden Foral 612/2001) y diversos proyectos europeos (LIFE96NAT/E/3114; LIFE99NAT/E/6119; LIFE99NAT/E/6419; LIFE12NAT/ES/0701; LIFE16NAT/ES/0235) que, entre otras acciones, conllevan la monitorización anual de la reproducción de todos los territorios conocidos.

Fruto de este trabajo se tiene información precisa sobre el éxito reproductor de cada una de las parejas territoriales controladas en Navarra, La Rioja y Álava-Araba;

incluyendo el número de pollos, la fecha de puesta y el sexo de los pollos volados. La información recopilada, hasta ahora dispersa, es fundamental para poder realizar una correcta gestión de la especie en las diferentes comunidades autónomas. La fecha de puesta determina los periodos críticos de la reproducción y éstos a su vez las distintas regulaciones (limitaciones de las actividades cinegéticas, deportivas, agropecuarias y forestales). Por su parte el éxito reproductor y el *sex ratio* condicionan el balance demográfico de la especie, mientras que el periodo en el que tienen lugar los fracasos (durante la incubación o la crianza) puede alertar de la necesidad de medidas concretas de gestión o de la necesidad de mejorar la vigilancia en las áreas de nidificación en épocas concretas.

Como la población de águila de Bonelli existente en el alto valle del Ebro es muy escasa (actualmente reducida a siete territorios activos), para poder obtener un volumen suficiente de información, ha sido necesario mantener el seguimiento reproductor durante un largo periodo de tiempo (36 años), utilizando una metodología similar que nos ha permitido evaluar con precisión algunos aspectos que de otra forma no habrían podido alcanzarse. El seguimiento a largo plazo nos aporta además una visión en perspectiva de la evolución de la población y de su posible relación con las medidas de gestión implementadas en las últimas décadas.

Material y métodos

El estudio se ha desarrollado desde 1989 hasta 2025, analizando la presencia en el territorio de adultos vs. subadultos, las muertes y reposiciones, la fecha de puesta y el éxito reproductor de cada una de las parejas territoriales existentes en Navarra (n=5 territorios, desde 1989), en Álava-Araba, (n=3 territorios, desde 1992) y en La Rioja (n=6 territorios, desde 1998) (Fig. 1). Los territorios han sido controlados todos los años y, por tanto, las series cronológicas son completas. No obstante, algunos territorios han desaparecido con el tiempo (N1, N2, N3, N4, N5, A1, A2, R3, R5 y R6), algunos han sido posteriormente recolonizados (N2, N3 y R5) y otros nuevos han sido colonizados (A3, N4, N5 y R4).

Para no interferir en la reproducción los controles se han efectuado mediante observación a larga distancia, a más de 1 km de los nidos; empleando binoculares y telescopios de alta luminosidad. En el seguimiento de la reproducción se ha utilizado una periodicidad semanal en el periodo de prepuesta y puesta (enero-marzo) y quincenal en el de cría y vuelo de los pollos (abril-junio). En los seguimientos han participado los Guardas forestales y Guardas de Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja, Gobierno de Navarra y Diputación foral de Álava.

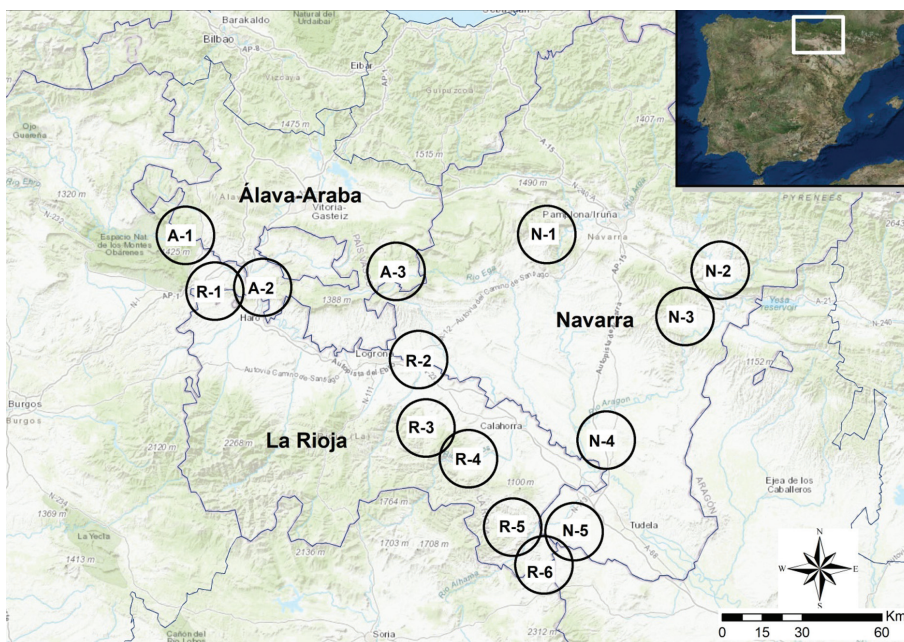


Fig. 1.- Mapa de situación de los territorios de águila de Bonelli estudiados en el alto valle del Ebro (A: Álava-Araba; N: Navarra y R: La Rioja).

Fig. 1.- Map showing the Bonelli's Eagle territories studied in the upper Ebro Valley (A: Álava-Araba; N: Navarra; R: La Rioja).

Parámetros reproductivos

Se han considerado como territorios “controlados”, aquéllos que a comienzos de temporada estaban ocupados por dos ejemplares de águila de Bonelli (Steenhof *et al.* 2017); independientemente de que fueran adultos (≥ 4 años) o subadultos (Parellada 1984, Forsman 1989, Gil-Sánchez *et al.* 2005). Para cada uno de ellos se ha comprobado si se ha iniciado la reproducción (puesta realizada), el nido utilizado, la eclosión, el número de pollos en el nido y el número de pollos volados, así como, en su caso, la fecha aproximada del fracaso reproductor. A partir de estos datos se han calculado cuatro parámetros reproductivos. “Productividad”: nº de pollos volados entre nº de parejas que ocupan territorio; “éxito reproductor”: nº de pollos volados entre las reproducciones iniciadas (i.e., parejas que incuban); “proporción de nidadas con éxito”: nº de reproducciones con éxito entre las iniciadas (i.e., parejas que sacan adelante algún pollo); y “tasa de vuelo”: nº de pollos volados por nidada con éxito (Del Moral 2006, Steenhof *et al.* 2017). Se ha estimado además la mortalidad adulta (nº de ejemplares muertos/controlados) y la proporción de subadultos presente en las parejas territoriales (Gil-Sánchez *et al.* 2005, Hernández-Matías *et al.* 2011a).

Para comprobar si se han producido cambios en la productividad o en la fecha de puesta a lo largo del tiempo se han considerado tres periodos de 12-13 años cada uno: 1989-2000, 2001-2013 y 2014-2025. Los periodos se han establecido en función de cambios tróficos y demográficos importantes que se han producido a raíz de la puesta en marcha de los planes de recuperación regionales y diversos proyectos LIFE europeos, así como del comienzo del reforzamiento poblacional efectuado en Navarra y Álava-Araba (Fernández *et al.* 2023). Para comprobar si existían diferencias en la productividad, la tasa de vuelo y la proporción de subadultos entre los diferentes periodos, se ha aplicado un análisis de la varianza (ANOVA) calculando el estadístico *F* y aceptando un nivel de significación de $p < 0.05$. Se ha analizado la tendencia a lo largo del tiempo en los parámetros reproductivos a partir de un modelo de regresión lineal entre la fecha y dichos parámetros reproductivos, aceptando un nivel de significación del $p < 0.05$ (Sokal y Rohlf 1969).

Fecha de puesta

La fecha de puesta se ha determinado mediante tres métodos complementarios: 1) por observaciones periódicas, 2) por desarrollo del plumaje y 3) por biometría. En las reproducciones con fracaso en la incubación la fecha de puesta se ha establecido a partir de las observaciones semanales, obteniendo una precisión de ± 3 días. En caso de éxito reproductor, la fecha de puesta se ha determinado mediante datación de los pollos a distancia, en función del desarrollo neuromotor y del plumaje, con una precisión de ± 2 días (Insausti 1986, Gil-Sánchez 2000). Por último, cuando se ha accedido al nido para el marcaje de los pollos, se han datado los volantones mediante biometría de la rectriz central y de la séptima primaria; obteniendo una precisión de $\pm 1-2$ días (Insausti 1986, Mañosa *et al.* 1995, Gil-Sánchez 2000, Palma *et al.* 2001, Redondo-Gómez *et al.* 2022, Iezekiel *et al.* 2025).

A partir de la datación de los pollos se ha obtenido la fecha de puesta deduciendo un periodo de 42 días de incubación (Cramp y Simmons 1979, Pacteau 2014 y Ch. Pacteau *com.pers.*). Para normalizar los resultados, se ha considerado siempre la fecha de puesta del primer huevo, a partir del pollo de mayor edad. De esta forma y teniendo en cuenta que los pollos de mayor edad tienen más probabilidad de llegar a volar (Bortollotti 2000, Edwards y Collopy 1983) se han limitado las variaciones debidas a las puestas simples vs. dobles y a las nidadas de uno vs. dos pollos (Fernández 1991).

En caso de contar con ejemplares reproductores radio-equipados (Kenward 1987) ($n=15$ en los territorios A2, A3, N2, N3, N4, R1, R2, R4 y R5) o controlados mediante cámaras web (Margalida *et al.* 2010) la fecha de puesta se ha establecido con una precisión de 1 día, en base a las localizaciones GPS y del acelerómetro; en función de la posición espacial del emisor en los ejes X, Y y Z (López-López *et al.* 2022, Iglesias-Lebrija *et al.* 2023).

Finalmente se han eliminado de la muestra las puestas de sustitución (n=3), de forma que la fecha de ovoposición se refiere siempre a las primeras puestas.

Sexado de los pollos

El sexado de los pollos se ha realizado únicamente en los nidos con éxito a los que se ha podido acceder para anillar los pollos (n=34).

A partir de 2002 todos los pollos anillados han sido sexados *in situ* por biometría y *ex situ* por ADN mitocondrial. El sexado por biometría se realizó empleando sendos polinomios discriminitorios basados en la edad (estimada por la séptima primaria) y cuatro medidas corporales: edad, biomasa (en g), longitud de la uña del hallux y diámetro del tarso (Palma *et al.* 2001). Además, durante el manejo de los pollos se tomó una muestra de plumas coberteras que fueron analizadas *ex situ* por ADNm mediante amplificación del gen CHD-W por PCR (Fridolfsson y Ellegreen 1999). El sexado de los pollos por ADNm ha sido efectuado en el Centro de Análisis y Diagnóstico (CAD) de la Junta de Andalucía.

Los resultados obtenidos por ADNm se han comparado con los obtenidos *in situ*, lo que nos ha permitido verificar la precisión del sexado mediante biometría (Palma *et al.* 2001, Redondo-Gómez *et al.* 2022, Iezekiel *et al.* 2025). Para comprobar si el sex-ratio (SR) de los pollos volantones difería de 1:1, se ha aplicado una prueba binomial de proporciones con corrección de continuidad (Siegel 1986, Bortolotti *et al.* 1986, Edwards *et al.* 1988).

Resultados

Parámetros reproductivos

Entre 1989 y 2025 se han monitorizado 196 reproducciones correspondientes a 14 territorios de águila de Bonelli en el alto valle del Ebro (España), incluyendo 125 reproducciones en seis territorios de La Rioja, 46 controles en 5 territorios de Navarra y 25 reproducciones en tres territorios de Álava-Araba (Anexos I-III).

Tan solo en 132 ocasiones las parejas iniciaron la reproducción realizando la puesta (67.4 %), y en 43 de ellas fracasaron durante la incubación o en el momento de la eclosión (21.9 %). En otras 13 ocasiones fracasaron durante la crianza de los pollos (6.6 %), por lo que, finalmente, en 76 de los 196 controles tuvieron éxito en la reproducción (38.8 %). De las 76 reproducciones con éxito, 39 (51.3%) obtuvieron un pollo, en 35 ocasiones obtuvieron dos pollos (46.1 %) y en dos ocasiones llegaron a volar tres pollos (R4 en 2013 y 2024).

En conjunto, en las 196 reproducciones controladas llegaron a volar 115 pollos, lo que supone una productividad media de 0.59 pollos/pareja.año ($n=196$), un éxito reproductor de 0.87 pollos volados/reproducción iniciada ($n=132$) y una tasa de vuelo 1.51 pollos volados por nidada con éxito ($n=76$) (Fig. 2).

La productividad es significativamente diferente en los tres periodos de tiempo considerados ($F=9.80$, $p<0.001$), siendo los valores medios de productividad en los tres periodos: 0.98 pollos/pareja.año en 1989-2000 ($n=51$), 0.51 pollos/pareja.año ($n=90$) en 2001-2013 y 0.31 pollos/pareja.año en 2013-2025 ($n=55$). Se aprecian también diferencias significativas ($F=5.02$, $p<0.05$) en el % de reproducciones con éxito (58.8 %, 36.7 % y 25.5 % reproducciones con éxito, respectivamente en cada uno de los periodos señalados más arriba) y en la tasa de vuelo ($F=4.09$, $p<0.05$) (Tabla 1).

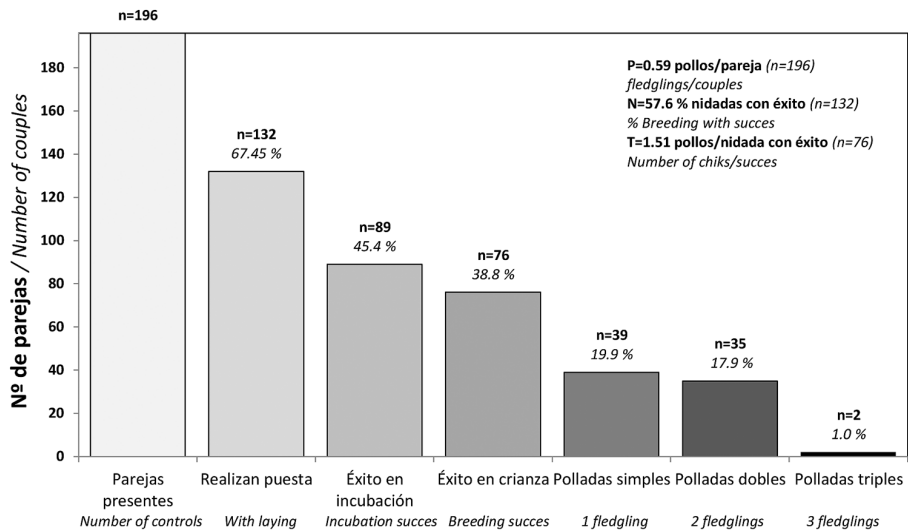


Fig. 2.- Éxito reproductor de del águila de Bonelli en el alto valle del Ebro. Se indica el nº y % de las parejas con reproducciones no iniciadas (R), con fracaso en la incubación (I), con fracaso en la crianza (C) y con uno y dos pollos volados.

Fig. 2.- Reproductive success of Bonelli's Eagle in the upper Ebro Valley. The number and % of pairs with breeding initiated, with incubation success, with rearing success and with one, two and three fledged chicks are indicated.

La tendencia de la productividad ($y=1.180-0.028x$, $R^2=0.425$) y de la tasa de vuelo ($y=1.765-0.016x$, $R^2=0.135$) a lo largo del periodo 1989-2025 son negativas y estadísticamente significativas ($p < 0.05$; Fig. 3).

Durante el periodo de estudio se han comprobado 43 bajas de ejemplares territoriales, incluyendo muertes y sustituciones activas, lo que supone una mortalidad de 9.3 % ejemplares/año ($n=462$). A su vez se han verificado 50 reposiciones (11.8 %), 28 de ellas (56 %) con ejemplares subadultos (< 4 años) lo que ha conllevado un incremento de la población reproductora del 2.5 %. El número de subadultos (< 4 años) monitorizados asciende a 46, representando el 10.0 % de los ejemplares territoriales controlados ($n=462$ ejemplares). La proporción de subadultos en las parejas difiere significativamente entre los periodos estudiados ($F=18.78$, $p<0.001$), con valores medios desde un 4.4 % en 1989-2000 que ascienden hasta un 22.6 % en 2014-2025 (Tabla 1).

Period	1989 2000	2001 2013	2014 2025	Total	F	p
Nº controles <i>Number of controls</i>	51	90	55	196		
Reproducciones con éxito <i>Breeding succes</i>	30	33	14	76		
Nº de pollos volados <i>Number of fledgling</i>	50	48	17	115		
Productividad (nº pollos/pareja) <i>Productivity (chiks/pair)</i>	0,98	0,53	0,31	0,59	9.80	$p<0.001$
Tasa de vuelo <i>N fledgling/succes</i>	1,67	1,46	1,21	1,51	4.09	$p<0.05$
% reproducciones con éxito <i>% breeding with succes</i>	58,8 %	36,7 %	25,5 %	38,8 %	5.02	$p<0.05$
% subadultos en las parejas <i>% subadults per pair</i>	4.4 %	7.0 %	22.6 %	10.0 %	18.78	$p<0.001$

Tabla 1.- Diferencias en el éxito reproductor del águila de Bonelli en el alto valle del Ebro en tres periodos definidos entre 1989 y 2025. Se diferencian los parámetros reproductivos (productividad, tasa de vuelo y % de nidadas con éxito) de los siguientes tres periodos: 1989-2000, 2001-2013 y 2014-2025; y se aplica un análisis de varianza (ANOVA) aceptando un nivel de significación de $p<0.05$.

Table 1.- Differences in the reproductive success of Bonelli's Eagle in the Upper Ebro Valley in three periods defined between 1989 and 2025. Reproductive parameters (productivity, flight rate and % of successful nests) are defined for the following three periods: 1989-2000, 2001-2013 and 2014-2025, applying an analysis of variance (ANOVA) and accepting a significance level of $p<0.05$.

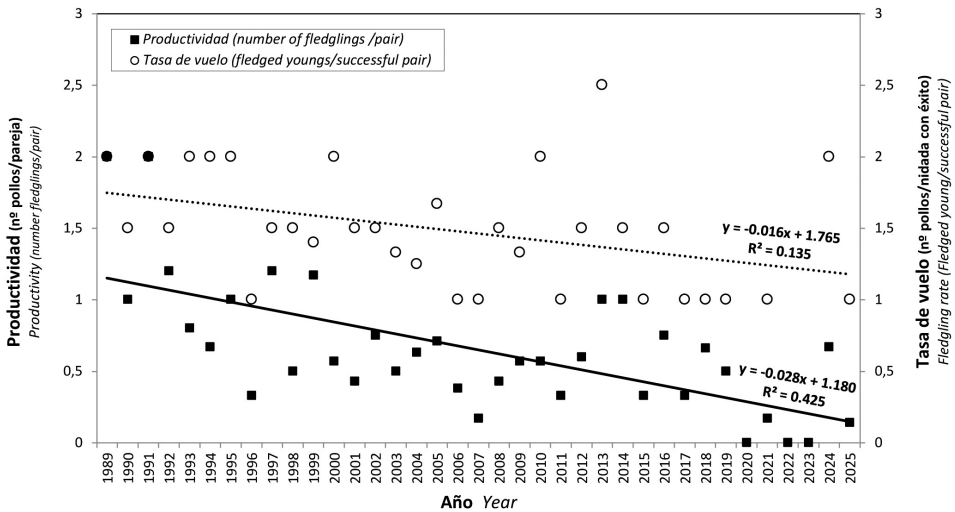


Fig. 3.- Tendencia de la productividad (nº de pollos/pareja, línea continua) y la tasa de vuelo (nº de volantones/nidada con éxito, línea de puntos) del águila de Bonelli en el del Ebro entre 1989 y 2025. Se indica la ecuación de regresión lineal y el valor de R^2 resultante para la productividad y la tasa de vuelo, respectivamente (p -valor < 0.05).

Fig. 3.- Trend in productivity (number of chicks per pair; solid line) and fledging rate (number of fledglings per successful nest, dotted line) of the Bonelli's Eagle in the Upper Ebro Valley between 1989 and 2025. The equation for the linear regression and R^2 both for productivity and flight rate are reported (p -value < 0.05).

Fecha de puesta y vuelo de pollos

Se han conocido 116 fechas de puestas, incluyendo 113 primeras puestas y tres puestas de sustitución. La fecha media de ovoposición en el alto valle del Ebro se sitúa hacia el 24 de febrero ($\bar{x}=23.7$, $\sigma=8.7$, $n=113$ primeras puestas), con puestas que oscilan entre el 3 de febrero (pareja R1 en 2005) y el 18 de marzo (pareja R2 en 2007). El 59 % de las primeras puestas se realiza en la segunda quincena del mes de febrero (Fig. 4).

Los pollos de águila de Bonelli en el alto valle del Ebro vuelan hacia el 15 de junio ($n=76$), permaneciendo en el territorio natal durante unos 83-105 días ($\bar{x}=93.3$, $\sigma=7.9$, $n=6$) e iniciando la dispersión juvenil a finales del mes de agosto y comienzos del mes de septiembre, pudiendo regresar ocasionalmente al territorio durante la primera semana tras su partida. Teniendo en cuenta las puestas de sustitución el periodo de puesta se extendería hasta el 15 de abril y la fecha de vuelo de los pollos hasta el 30 de julio (en el caso de la pareja R2 en 2015).

Aunque para evitar molestias a las aves no se ha investigado el tamaño de la puesta, conocemos al menos tres casos de puestas triples (pareja R4 en 2016, 2017 y 2024) y dos de puestas cuádruples (parejas R4 en 2013 y A3 en 2025).

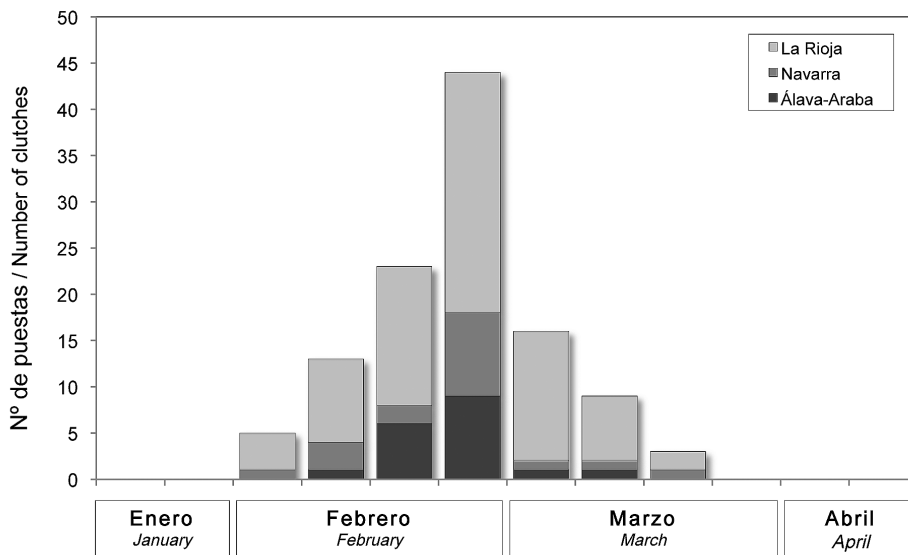


Fig. 4.- Fecha de puesta del águila de Bonelli en el alto valle del Ebro (\bar{x} =23.7 febrero; σ =8.7, n=113). Se diferencian las fechas de puesta por Comunidades: Álava-Araba, Navarra y La Rioja. Se excluyen las tres puestas de reposiciónistró en 2024. Los triángulos amarillos muestran las citas anteriores en época de cría en localidades que no fueron cubiertas por nuestros muestreos.

Fig. 4.- Laying dates for Bonelli's Eagle in the Upper Ebro Valley (\bar{x} =23.7 February, σ =8.7, n=113). Number of clutches are differentiated by regional countries: Álava-Araba, Navarra, and La Rioja. The three replacement clutches are excluded.

La puesta cuádruple de la pareja R4 en 2013 está relacionada con una hembra que resultó ser excepcionalmente buena reproductora, y que en sucesivas temporadas ha realizado puestas de tres y cuatro huevos (Fernández *et al.* 2019); mientras que la puesta cuádruple de la pareja A3 en 2025 se debe a que la pareja está actualmente formada por dos hembras y, gracias al seguimiento con cámara web, se sabe que dos huevos fueron puestos por una hembra y los otros dos por su compañera (Fernández *et al.* 2026).

Puestas de sustitución

Se han comprobado tres puestas de sustitución: una en 2003 en la pareja A2 y dos en 2015 y 2018 en la pareja R2; lo que supone una media de 1.5 % de las reproducciones controladas (n=196) y un 7.0 % de las reproducciones con fracaso durante la incubación (n=43).

Las puestas de sustitución se produjeron tras fracasos ocurridos durante las primeras fases de la incubación en puestas relativamente prematuras (primera quincena del

mes de febrero) y por pérdida accidental de la puesta: desplome del nido (A2 en 2003) y caída de los huevos de un nido en árbol (pareja R2 en 2015 y 2018).

Las puestas de sustitución fueron realizadas 25, 31 y 34 días después del fracaso de la primera puesta. En la pareja A2 (2003) la puesta se realizó en un nido alternativo, mientras que en la pareja R2 las segundas puestas se realizaron en el mismo nido (en 2015 y 2018).

Las tres puestas de sustitución estaban fecundadas, pero solo una de ellas tuvo éxito (pareja R2 en 2018), llegando a volar un pollo. La puesta de sustitución efectuada por la pareja R2 en 2015 fracasó de nuevo en la incubación; mientras que en 2003 la pareja A2 obtuvo un pollo, que murió posteriormente por una infección de *Trichomonas* sp. cuando contaba con 30 días de edad.

Sex-ratio

Entre 2002 y 2025 se han sexado 34 pollos de águila de Bonelli anillados en el alto valle del Ebro que fueron sexados *in situ* mediante biometría y sexados posteriormente *ex situ* por ADNm. Todos ellos, salvo uno, llegaron a volar (tercer pollo, macho, de la pollada cuádruple de R4 en 2013).

El sexado por ADNm coincidió en todos los casos ($n=34$) con el sexado *in situ* realizado por biometría de los pollos en el nido mediante el método de Palma *et al.* (2001). Diecisiete de los 34 pollos sexados resultaron ser machos y 17 hembras, lo que supone un sex-ratio de 1:1 machos/hembras. Considerando que uno de los pollos machos murió en el nido (tercer pollo de la pareja R4 en 2013), el *sex-ratio* de los pollos finalmente volados sería de 16 machos/17 hembras, que no difiere significativamente de la proporción 1/1 esperada ($z=0.174$, $p=0.041$).

Discusión

La gestión de especies amenazadas, como el águila de Bonelli en el alto valle del Ebro (Navarra, La Rioja y Álava-Araba), requiere de medidas específicas que a su vez precisan de un buen conocimiento de la biología reproductiva de la especie, con sus particularidades fenológicas y demográficas regionales. Cuando la población estudiada se encuentra en peligro de extinción, con una población muy escasa y disgregada como ocurre en el alto valle del Ebro (Del Moral 2006, Hernandez-Matías *et al.* 2013), el estudio de los parámetros reproductivos, como la fecha de puesta, productividad y/o éxito reproductor precisa de seguimiento a largo plazo que, además de constante, debe efectuarse con una metodología estandarizada. En nuestro caso, este seguimiento a largo plazo sólo ha sido posible gracias a la aprobación e implementación de los Planes de recuperación del águila de Bonelli en Navarra (Decreto Foral 15/1996), La Rioja (Decreto 19/1999) y Álava-Araba (Orden Foral 612/2001).

Parámetros reproductivos

La productividad media encontrada para el alto valle del Ebro (0.59 pollos/pareja.año) es sensiblemente inferior a la estimada para otras regiones peninsulares (Del Moral 2006, Del Moral y Molina 2018) y circunmediterráneas (Real y Mañosa 1997, Gil-Sánchez *et al.* 2004, Hernández-Matías *et al.* 2011b); mientras que la tasa de vuelo (1.51 pollos/nidada con éxito) es muy similar a la observada para el resto de España, con 1.48 (Del Moral 2006) y 1.51 pollos por nidada con éxito (Del Moral y Molina 2018).

Una menor productividad sería de esperar en una población situada en el límite de distribución específica, como es el alto valle del Ebro, debido a la existencia de territorios considerados subóptimos (Gil-Sánchez *et al.* 2005, Hernández-Matías *et al.* 2013 y 2025). En nuestro caso, una parte importante de los fracasos reproductivos se debe a la ausencia de ovoposición (33.6 %), mientras que el fracaso durante la cría de los pollos es muy escaso (6.6 %). Este hecho, junto con una tasa de vuelo (1.51 pollos/nidada con éxito) equivalente al resto de las poblaciones peninsulares, podrían indicar que los territorios actualmente ocupados en el alto valle del Ebro dispondrían de suficiente alimento; al menos hasta la entrada de la neumonía hemorrágica vírica (VHP) del conejo de campo en 1989 (Ceballos *et al.* 1992, Fernández 1993, Cortés-Avizanda *et al.* 2009, Moleon *et al.* 2009, Hernández-Matías 2025).

Nuestros resultados muestran una reducción significativa en el éxito reproductor a lo largo de las últimas décadas, con un desplome tanto del número de nidadas con éxito como del número de pollos volados y de la productividad y un incremento significativo de la proporción de subadultos en las parejas. Este descenso de la productividad, acusado desde comienzos del siglo, ha seguido acentuándose en la última década; lo que indicaría que las medidas puestas en marcha dentro de los planes de recuperación regionales y de reforzamiento poblacional han podido mitigar provisionalmente la pérdida de territorios (Del Moral y Molina 2018, Fernández *et al.* 2023) pero no han conseguido revertir la baja productividad.

Las causas de esta caída de la productividad podrían ser variadas: metodológicas, geográficas, antrópicas, demográficas o una combinación de ellas: 1) metodológicas, al incluir todos los territorios y no solo aquéllos mejor conocidos, que suelen ser aquéllos con mayor productividad (Steenhof *et al.* 2017); 2) geográficas debido a nuestra situación en el límite de distribución específica (Ontiveros *et al.* 2003, Gil-Sánchez *et al.* 2004); 3) antrópicas como consecuencia de un incremento de las molestias humanas por actividades lúdicas y deportivas (Martínez *et al.*, 2025); y 4) demográficas, consecuencia del incremento de la población acontecido en los últimos años gracias al reforzamiento poblacional (Real y Mañosa 1997, Hernández *et al.* 2013, Martínez-Miranzo *et al.* 2022, Fernández *et al.* 2023).

El hecho de que un elevado número de las parejas estudiadas no inicien la reproducción podría deberse principalmente a cuestiones demográficas y a los cambios pobla-

cionales acaecidos en los últimos años, con frecuentes recambios en los ejemplares reproductores y una elevada proporción de ejemplares subadultos dentro de los reproductores (Real y Mañosa 1997, Hernández-Matías *et al.* 2011a), que en nuestra región alcanza el 10.0 % de los ejemplares territoriales, y se ha incrementado en los últimos años en gran parte como consecuencia de la inclusión de nuevas parejas establecidas en territorios abandonados o de nueva formación (Hernández-Matías *et al.* 2010 y 2011a, Fernández *et al.* 2023).

El reforzamiento poblacional efectuado a partir de 2014 introduciendo pollos volantones mediante *hacking* (LIFE Bonelli y Aquila a-LIFE) ha contribuido a la colonización de cinco territorios, tres de ellos abandonados (N3 y N4 en Navarra, y R7 en La Rioja) y otros dos de nueva creación (N6 en Navarra y A3 en Álava-araba), lo que ha frenado temporalmente la pérdida de más territorios. Sin embargo, algunos de estos nuevos territorios se han formado por ejemplares subadultos (Fernández *et al.* 2023), lo que ha incrementado el número de subadultos y de ejemplares inexpertos en el total de parejas, y ha podido reducir aún más la baja productividad preexistente (Gil-Sánchez *et al.* 2005, Hernández-Matías *et al.* 2011b).

La alta tasa de vuelo encontrada en el área de estudio, incluyendo polladas triples y cuádruples (Fernández *et al.* 2019), contradice la hipótesis de que el declive de nuestra población se deba a la degradación del medio o a la escasez de alimento en los territorios (Hernández-Matías *et al.* 2025). Una pequeña parte del declive en la productividad observado en los últimos años podría deberse al desplome de las poblaciones de conejo de campo por la VHP a finales de los 80 (Ceballos *et al.* 1992). Sin embargo, en el alto valle del Ebro el águila de Bonelli es muy ornitófaga, con más del 56 % de las presas compuestas por aves (Insausti 1986, Moleón *et al.* 2009), por lo que, aunque el desplome de las poblaciones de conejo le debió afectar, debió de ser en menor medida que a otras grandes rapaces (Fernández 1993, Cortés-Avizanda *et al.* 2009).

En sentido contrario, el escaso número de pollos muertos durante la crianza parece contribuir a una mayor tasa de vuelo. De hecho, solo el 6.6 % de las nidadas controladas ha fracasado durante la crianza de los pollos. En este sentido, la baja prevalencia de la tricomoniasis en nuestra población, con solo dos casos comprobados en territorios con elevado consumo de palomas (en A2 en 2016 y en N3 en 2024), puede contribuir a la supervivencia de las polladas que, en otras regiones peninsulares, se ven diezgadas por los casos de esta enfermedad (Real *et al.* 2000).

Nuestros resultados muestran una baja productividad, causada fundamentalmente por una alta proporción de parejas que no realizan la puesta. A la luz de la evolución observada en las últimas décadas, la baja productividad se explicaría mejor por cuestiones demográficas, como el elevado número de sustituciones y el incremento de la proporción de subadultos en los territorios, que por una disminución de la disponibilidad de alimento o el aumento de las molestias humanas.

Fechas de puesta

La fecha media de puesta del alto valle del Ebro (24 de febrero), es ligeramente más tardía que la observada para el resto de las poblaciones circunmediterráneas (Insausti 1986, Gil-Sánchez 2000); lo que resulta en consonancia con nuestra posición latitudinal (42° N) y clima de carácter mediterráneo-continental (Ontiveros *et al.* 2003). La fecha media de puesta es de gran relevancia en la gestión medioambiental puesto que determina el “periodo crítico de la reproducción” para el que se establecen algunas restricciones en las zonas de nidificación (caza, escalada, tránsito, realización de obras, etc.). Basándonos en la fecha media de puesta observada en nuestra región y en el rango, que oscila entre el 4 de febrero y el 16 de marzo, el periodo crítico para la reproducción establecido en los distintos planes de recuperación debería extenderse desde mediados de enero hasta el mes de septiembre, con el fin de incluir tanto el periodo de prepuesta como el de dependencia parental (Morvan y Dobchies 1990, Real *et al.* 1998). A este respecto conviene tener en cuenta también la existencia de las puestas de sustitución que, al producirse con mes y medio de retraso respecto a las primeras puestas, conllevarían un retraso equivalente a lo largo de toda la reproducción y en el periodo de dependencia parental.

Puestas de sustitución

Las puestas de sustitución, aunque bien conocidas y ampliamente utilizadas como técnica para incrementar la producción de huevos en la cría en cautividad (Pacteau 2014), son una excepción en la mayoría de las grandes rapaces (Newton 1979, Morrison y Walton 1980, Watson 1997) y rara vez han sido cuantificadas para el águila de Bonelli (Insausti 1986, Cabeza y De la Cruz 2001, Moleón *et al.* 2009). En nuestro caso hemos tenido oportunidad de conocer tres casos, lo que supone el 1.5 % de las 196 reproducciones controladas. Ahora bien, si consideramos solo el número de fracasos en la incubación (n=43), la proporción de puestas de sustitución se elevaría al 7.0 %. Estos resultados tienen cierta relevancia a la hora de realizar el seguimiento de la reproducción, puesto que la monitorización de los territorios, sobre todo en fracasos accidentales y prematuros durante la incubación, debería extenderse al menos hasta comprobar que no se producen nuevas puestas.

Los tres casos de puestas de sustitución comprobados en el alto valle del Ebro, se han producido siempre en circunstancias excepcionales, con la pérdida accidental de la puesta en las primeras fases de la incubación: un caso por desplome del nido y dos casos por caída de los huevos del nido como consecuencia del cimbreo del árbol que lo soportaba. Las puestas de sustitución se han producido entre 25 y 34 días tras la pérdida de la primera puesta y han presentado un menor éxito reproductor; con tan solo un pollo volantón volado. En conjunto las puestas de sustitución, acaecidas entre el 27 de marzo y el 15 de abril, suponen un retraso de casi mes y medio respecto a la

fecha media de puesta, lo que sin duda debe conllevar un desfase en la fenología reproductiva y contribuir a un menor éxito en la crianza (33 %).

Sex-ratio

El 50 % de los 34 pollos sexados mediante biometría en los nidos durante las labores de anillamiento resultaron ser machos. Uno de estos machos, el tercer pollo de la pareja R4 en 2013 no llegó a volar y murió en el nido. El resto de los pollos sexados llegó a volar ($n=23$), por lo que el *sex-ratio* resultante de los pollos volados fue de 0.94 machos/hembra.

La relación de sexos encontrada no difiere significativamente de la esperada de 1:1. Este resultado contradice en parte la teoría de que, debido a su mayor tamaño corporal, los pollos hembras de las especies con dimorfismo sexual inverso (Newton 1979) tienen más probabilidades de sobrevivir en las polladas múltiples (Bortolotti 1986, Edwards *et al.* 1988). Los pollos machos de águila de Bonelli, a pesar de ser más pequeños tienen un crecimiento más rápido que las hembras (Mañosa *et al.* 1995, Iezekiel *et al.* 2025), además de ser habitualmente más activos, lo que equilibraría su menor tamaño en los casos de competencia por el alimento. Las águilas de Bonelli reproductoras son, en comparación con otras especies, muy cuidadosas en la crianza de los pollos vigilando continuamente y alimentando regularmente a sus polluelos (Morvan 2007, Hernández-Matías *et al.* 2016, Martínez *et al.* 2020). Además, la alta tasa de vuelo observada en nuestra región (1.51 pollos/nidada con éxito) indicaría la existencia de suficiente alimento, lo que reduciría los fratricidios (Bortolotti 1986, Real *et al.* 2000, Caro *et al.* 2014) y, por tanto, facilitaría una supervivencia igualada entre los pollos volantones de los dos sexos. Por el contrario, la incorporación de subadultos y adultos sin experiencia en las parejas territoriales podría conllevar a medio plazo un incremento de los casos de fratricidio (Hernández-Matías *et al.* 2016).

La relación de sexos entre los pollos volados puede tener importantes consecuencias en la demografía de la especie, sobre todo si, como es nuestro caso, los juveniles machos soportan una mayor predación por parte de otras grandes águilas y tienen una mayor mortalidad juvenil y subadulta (Fernández *et al.* 2023). Partiendo de un *sex-ratio* equilibrado entre los pollos volados, la mayor mortalidad juvenil entre los machos podría conllevar a medio plazo y en poblaciones marginales con escaso intercambio poblacional, como la del alto valle del Ebro, a un déficit de ejemplares machos que repongan las pérdidas en los territorios existentes (Real y Mañosa 1997, Hernández-Matías *et al.* 2011b y 2013) y a una reducción de la capacidad de recuperación de las poblaciones situadas en el límite de distribución específico (Ontiveros *et al.* 2003, Hernández-Matías *et al.* 2025).

Conclusión

El declive poblacional acaecido en los últimos años en la población de águila de Bonelli en alto valle del Ebro (Del Moral y Molina 2018) ha ido acompañado de una caída de la productividad y de la tasa de vuelo, que han contribuido al desequilibrio poblacional (Hernández *et al.* 2013) y a una mayor proporción de subadultos en los territorios (22.6 % en los últimos 10 años). El reforzamiento poblacional puesto en marcha en la última década (LIFE Bonelli y Aquila a-LIFE) ha frenado el desplome de la población (Fernández *et al.* 2023) pero no ha incrementado el éxito reproductor y ha podido aumentar momentáneamente la proporción de subadultos en los territorios.

La baja productividad encontrada en el área de estudio (0.59 pollos/pareja.año) se debe principalmente a una elevada proporción de parejas que no inician la reproducción (33.6 %) y a fracasos en la incubación (21.9 %); mientras que la tasa de vuelo es relativamente alta (1.51 pollos/pareja); por lo que los esfuerzos de vigilancia y conservación en las áreas de nidificación deberían intensificarse particularmente en los períodos de prepuesta e incubación.

La distribución de las fechas de puesta encontrada en nuestra región (con rango entre el 3 de febrero y el 18 de marzo), la existencia de una alta proporción de puestas de reposición (7.0 % de los fracasos en la incubación), y el extenso periodo de dependencia parental (hasta finales de agosto, Morban y Dobchies 1990), hace necesario: 1º) adaptar los periodos críticos de la reproducción establecidos en los planes de recuperación regionales, ampliándolos hasta cubrir desde el mes de enero hasta el mes de agosto, ambos inclusive; y 2º) extender el seguimiento de la reproducción, incluso más allá de los posibles fracasos en la incubación.

A pesar del dimorfismo sexual inverso entre los pollos de águila de Bonelli y de la existencia de fratricidio en los territorios con escasez de alimento (Hernández-Matías *et al.* 2016) la relación de sexos entre los pollos volados en el alto valle del Ebro es de 0.94 machos/hembra, por lo que la predominancia de las hembras en la población flotante se debería achacar a una mayor mortalidad juvenil entre los machos (Fernández *et al.* 2023). Para intentar mitigar este sesgo, se recomienda introducir en los reforzamientos poblacionales una mayor proporción de machos que de hembras.

Agradecimientos

El seguimiento de la reproducción se ha desarrollado en cumplimiento de los Planes de recuperación del Águila de Bonelli en Navarra (Decreto Foral 15/1996), La Rioja (Decreto 19/1999) y Álava-Araba (Orden Foral 612/2001) y han sido parcialmente financiados por fondos LIFE de la Unión Europea (LIFE96NAT/E/3114; LIFE99NAT/E/6119; LIFE99NAT/E/6419; LIFE12NAT/ES/0701; LIFE16NAT/ES/0235). En la monitorización de las reproducciones han participado los Guardas de Medio

Ambiente del Gobierno de Navarra pertenecientes a las demarcaciones de Estella, Pamplona, Aoiz, Tafalla y Tudela; los Guardas forestales del Gobierno de La Rioja: I. Gámez, M. Marín, F. Cirac, J. Robles, S. Vela, E. Miera y E. Fabeiro; y los Guardas de Parques Naturales de la Diputación Foral de Álava: A. Díaz, A. Berganzo, L. Erdozain y A. Tirado. El sexado de los pollos ha sido realizado por el equipo de la Dra. Irene Zorrilla (CAD). Un agradecimiento especial para Juan Carlos Báscones (†), Luís Lopo y Joseba Carreras, como precursores del desarrollo de los Planes de recuperación regionales y del seguimiento de especies amenazadas en Navarra, La Rioja y Álava-Araba. Beatriz Martín, como editora asociada, y Elisa Cristo da Silva y dos revisores anónimos mejoraron la redacción y aportaron interesantes puntos de vista al artículo.

Material Suplementario – Anexos:

https://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/mcn.2026.74.03_anexo.pdf



Bibliografía

- Bortolotti, G.R., 1986. Influence of sibling competition on nestling sex ratios of sexually dimorphic birds. *Am. Nat.* 127, 495-507.
- Cabeza, A., De la Cruz, C., 2001. Puesta de reposición con éxito de Águila-azor perdicera *Hieraaetus fasciatus* en Extremadura (SW España). *Ardeola* 48, 233-236.
- Caro, J., Ontiveros, D., Pleguezuelos, J.M., 2014. Cannibalism in Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*). *J. Raptor Res.* 48(3), 292-294.
- Ceballos, O., Donázar, J.A., Fernández, C., 1992. Estudio de la repercusión de la parvovirus sobre el conejo de campo (*Oryctolagus cuniculus*) y las poblaciones de Búho real (*Bubo bubo*), Alimoche (*Neophron percnopterus*), Águila real (*Aquila chrysaetos*) y Águila perdicera (*Hieraaetus fasciatus*) en Navarra. Dirección General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra, Pamplona-Iruña.
- Cortés-Avizanda, A., Ceballos, O., Donázar, J.A., 2009. Long-term trends in population size and breeding success in the Egyptian vulture (*Neophron percnopterus*). *J. Raptor Res.* 43(1), 43-49.
- Cramp, S., Simmons, K.E.L. (eds.), 1979. Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa. Vol.II, Hawks to Bustard. Ed. Oxford University Press, Oxford.

- Del Moral, J.C. (ed.) 2006. El Águila perdicera en España: Población en 2005 y método de censo. Monografía Seguimiento de Aves 9. SEO/BirdLife, Madrid.
- Del Moral, J.C., Molina, B. (eds.) 2018. El Águila perdicera en España, población reproductora en 2018 y método de censo. Monografía Seguimiento de Aves 49. SEO/BirdLife, Madrid.
- Edwards, T.C., Collopy, M.W., Steenhof, K., Kochert, M.N., 1988. Sex ratios of fledgling Golden Eagles. *The Auk* 105(4), 792-796.
- Fernández, C., 1991. Fecha de puesta del Águila real (*Aquila chrysaetos* L.) en Navarra. *Ardeola* 38(1), 29-36.
- Fernández, C., 1993. Effect of the Viral Haemorrhagic Pneumonia of the Wild rabbit on the diet and breeding success of the Golden eagle *Aquila chrysaetos* (L.). *Rev Ecol. (Terre Vie)*, 48, 323-329.
- Fernández, C., Azkona, P., Gámez, I., Cirac, F., 2019. Hallada una nidada de 4 pollos de Águila perdicera (*Aquila fasciata*). *Quercus* 398, 20-21.
- Fernández, C., Azkona, P., Olalde, M., Moreno, I., Carreras, J., 2023. Reforzamiento poblacional del Águila de Bonelli (*Aquila fasciata*) en Álava-Araba: Patrones de dispersión, tasas de mortalidad y retornos filopátricos. *Munibe, Cienc. nat.* 71, 131-150.
- Fernández, C., Azkona, P., Izquierdo, P., Álvarez, E., Carreras, J., 2026. Successful fostering involving a female-female pair of Bonelli's Eagles. *J. Raptor Res.* 60(2), 1-5.
- Forsman, D., 1999. *The Raptors of Europe and the Middel East: A handbook of field identification.* T. & D. Poyser Ltd., London.
- Fridolfsson, A.K., Ellegren, H., 1999. A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *J. Avian Biol.* 30, 116-121.
- Gil-Sánchez, J.M., 2000. Efecto de la altitud y de la disponibilidad de presas en la fecha de puesta del Águila-azor perdicera (*Hieraaetus fasciatus*) en la provincia de Granada. *Ardeola* 47, 1-8.
- Gil-Sánchez, J.M., Moleón, M., Otero, M., Bautista, J., 2004. A nine-year study of successful breeding in a Bonelli's eagle population in southeast Spain: a basis for conservation. *Biol. Conserv.* 118, 685-694.
- Gil-Sánchez, J.M., Moleón, M., Bautista, J., Otero, M., 2005. Differential composition in the age of mates in Bonelli's eagle populations: The role of spatial scale, non-natural mortality reduction and the age classes definition. *Biol. Conserv.* 124, 149-152.
- Hernández-Matías, A., Real, J., Moleón, M., Palma, L., Sánchez-Zapata, J.A., Pradel, R., Carrete, M., Gil-Sánchez, J.M., Beja, P., Balbontín, J., Vicent-Martín, N., Ravayrol, A., Benítez, J.R., Arroyo, B., Fernández, C., Ferreiro, E., García, J., 2013. From local monitoring to broad-scale viability assessment: a case study for the endangered Bonelli's Eagle in western Europe. *Ecol. Monographs* 83(2), 239-261.
- Hernández-Matías, A., Real, J., Parés, F., Llacuna, S., 2016. Sibicide in Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*). *J. Raptor Res.* 50(1), 125-128.

Hernández-Matías, A., Real, J., Pradel, R., Ravayrol, A., Vicent-Martin, N., Bosca, F. Cheylan, G., 2010. Determinants of territorial recruitment in Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*) populations. *The Auk* 127(1), 173-184.

Hernández-Matías, A., Real, J., Pradel, R., 2011a. Quick methods for evaluating survival of age-characterizable long-lived territorial birds. *J. Wildl. Manag.* 75, 856-866.

Hernández-Matías, A., Real, J., Pradel, R., Ravayrol, A., Vicent-Martin, N., 2011b. Effects of age, territoriality and breeding on survival of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata*. *Ibis* 153, 847-857.

Hernández-Matías, A., Peragón, I., Resano-Mayor, J., Moleón, M., Virgós, E., Real J., 2025. Temporal and spatial variation in trophic scenarios affects population demographic heterogeneity in Bonelli's Eagles (*Aquila fasciata*). *Ibis* 167, 179-195.

Iezekiel, S., Kosicki, J.Z., Yosef, R., Bakaloudis, D.E., Vlachos, C.G., 2025. Modelling growth rates and developing an age determination tool for nestling Bonelli's Eagle *Aquila fasciata*. *Ann. Appl. Biol.* <https://doi.org/10.1111/aab.70002>

Iglesias-Lebrija, J. J., García, M., Serrano, J. M., Álvarez, E., de la Fuente, S., Marco, M., Galán, M., Moraleda, V., 2023. Patrones comportamentales y detección de causas de mortalidad en águila perdicera (*Aquila fasciata*) a través del acelerómetro triaxial de emisores GPS-GSM. *Ecosistemas* 32(2), 2506-2506.

Insausti, J.A., 1986. Biología del Águila perdicera *Hieraaetus fasciatus* (Vieillot 1822) en Navarra. Tesis de grado, Universidad de Navarra, Pamplona.

Kenward, R.E., 1987. *Wildlife Radio Tagging: Equipment, field techniques and data analysis.* Academic Press Inc., London.

López-López, P., Perona, A.M., Egea-Casas, O., Morant, J. Urios, V., 2022. Tri-axial accelerometry shows differences in energy expenditure and parental effort throughout the breeding season in long-lived raptors. *Current Zoology* 68(1), 57-67.

Mañosa, S., Real, J., Codina, J., 1995. Age estimation and growth patterns in nestling Bonelli's eagles Eagle in Catalonia. *J. Raptor Res.* 29, 273-275.

Margalida, A., García, D., Heredia, R., Bertrán, J., 2010. Video-monitoring helps to optimize the rescue of second-hatched chicks in the endangered Bearded Vulture *Gypaëtus barbatus*. *Bird Conserv. Int.* 20, 55-61.

Martínez, J.E., Zuberogoitia, I., Calvo, J.F., Álvarez, M., Arroyo, B., Margalida, A., 2025. Behavioural responses of Bonelli's eagles to human disturbances: Assessing the effect on reproduction and suggested mitigating measures. *People and Nature* 7, 1309-1320.

Martínez, J.E., Zuberogoitia, I., Escarabajal, J. M., Cerezo, E., Calvo, J.F., Margalida, A., 2020. Breeding behaviour and time-activity budgets of Bonelli's eagles *Aquila fasciata*: marked sexual differences in parental activities. *Bird Study* 67(1), 35-44.

Martínez-Miranzano, I., Banda, E., Gardiazábal, A., Ferreira, E., Seoane, J., Aguirre, J. I., 2022. Long-term monitoring program reveals a mismatch between spatial distribution and

reproductive success in an endangered raptor species in the Mediterranean area. *Ecological Research* 37(3), 421-431.

Moleón, M., Sánchez-Zapata, J., Real, J., García-Charton, J., Gil-Sánchez, J. M., Palma, L., Bautista, J., Bayle, P., 2009. Large-scale spatio-temporal shifts in the diet of a predator mediated by an emerging infectious disease of its main prey. *Journal of Biogeography* 36(8), 1502-1515.

Moleón, M., Martín-Jaramillo, M., Nieto, J., Bautista, J., 2009. Successful replacement clutches in European Bonelli's Eagles (*Hieraaetus fasciatus*). *J. Raptor Res.*, 43 (2) 164-165.

Morrison, M.L., Walton, B.J., 1980. The laying of replacement clutches by Falconiforms and Strigiforms in North America. *J. Raptor Res.* 14(3), 79-85.

Morvan, R., Dobchies, F., 1990. Dépendence de jeunes Aigles de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* après l'envol: variations individuelles. *Alauda* 58, 150-162.

Morvan, R., 2007. Aigle de Bonelli. Ed. Regard du Vivant, Castelnau Le Lez (France).

Newton, I., 1979. Population Ecology of Raptors. Ed. T. & A.D. Poyser, Berkhamsted (U.K.).

Ontiveros, D., Pleguezuelos, J.M., 2003. Influence of climate on Bonelli's eagles' (*Hieraaetus fasciatus* V. 1822) breeding success through the Western Mediterranean. *Journal of Biogeography* 30, 755-760.

Palma, L., Cardia, P., Beja, P., Guillemaud, T., Ferrand, N., Vancela M.L., Candela, L., 2001. Sexing Bonelli's Eagle nestlings: morphometrics versus molecular techniques. *J. Raptor Res.* 35(3), 187-193.

Pacteau, Ch., 2014. Reproduction en captivité de l'Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*): l'attachement entre partenaires. *Alauda* 62, 91-104.

Parellada, X., 1984. Variació del plomatge i identificació de l'Àliga cuabarrada (*Hieraaetus fasciatus*). *Rapinyaires Mediterranis* 2, 70-79.

Real, J., Mañosa, S., 1997. Demography and conservation of western European Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* populations. *Biological Conservation* 79, 59-66.

Real, J., Mañosa, S., Codina, J., 1998. Post-nestling dependence period in the Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus*. *Ornis Fennica* 75, 129-137.

Real, J., Mañosa, S., Muñoz, E., 2000. Trichomoniasis in a Bonelli's eagle population in Spain. *J. Wildl. Diseases* 36(1), 64-70.

Redondo-Gómez, D., Bautista, J., Gil-Sánchez J.M., Parés, F., Hernández-Matías, A., Resano-Mayor, J., Real, J., Pacteau, Ch., Madero, A., Moleón, M., 2022. Towards accurate and simple morphometric sex differentiation in Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* nestlings: Inter-population variations and influence of growth conditions. *Avian Biology Res.* 15(1), 3-12.

Steenhof, K., Kochert, M.N., McIntyre, C.L., Brown, J.L., 2017. Coming to terms about describing Golden eagle reproduction. *J. Raptor Res.* 51(3), 378-390.

Siegel, S., 1970. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. Ed. Trillas, México D.C. (México).

Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1969. Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Ed. H. Blume, Madrid.

Watson, J., 1997. The Golden Eagle. T. & A.D. Poyser, London.



Fecha de recepción / Date of reception: 09/09/2025

Fecha de aceptación / Date of acceptance: 24/03/2026

Editora Asociada / Associate editor: Beatriz Martín