

# Sinergias entre el fototrampeo y tecnologías de seguimiento con emisores para el estudio de servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna

Salvador Rebollo<sup>1,\*</sup> , Lorenzo Pérez-Camacho<sup>1</sup> , Loreto Martínez-Baroja<sup>1</sup> , Jorge A. Martín-Ávila<sup>1</sup> , Luisa M. Díaz-Aranda<sup>2</sup> , Olivia Lorente-Casalini<sup>1</sup> , Noelia Morato<sup>1</sup> , José M. Fernández-Pereira<sup>3</sup>, Jesús A. Cuevas<sup>1</sup> , José M. Rey-Benayas<sup>1</sup> , Pedro Villar-Salvador<sup>1</sup> 

- (1) Universidad de Alcalá, Grupo de Ecología Forestal y Restauración (FORECO), Departamento de Ciencias de la Vida, 28805 Alcalá de Henares, Madrid, España.
- (2) Universidad de Alcalá, Grupo de Entomología Forense, Departamento de Ciencias de la Vida e Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Policiales, 28805 Alcalá de Henares, Madrid, España.
- (3) Colaborador de campo independiente, Castrelo-Cela (Bueu), Pontevedra, España.

\* Autor de correspondencia / Corresponding author: Salvador Rebollo [salvador.rebollo@uah.es]

> Recibido / Received: 30/09/2024 – Aceptado / Accepted: 10/02/2025

**Cómo citar / How to cite:** Rebollo, S., Pérez-Camacho, L., Martínez-Baroja, L., Martín-Ávila, J.A., Díaz-Aranda, L.M., Lorente-Casalini, O., Morato, N., Fernández-Pereira, J.M., Cuevas, J.A., Rey-Benayas, J.M., Villar-Salvador, P. 2025. Sinergias entre el fototrampeo y tecnologías de seguimiento con emisores para el estudio de servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna. *Ecosistemas* 34(1): 2876. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2876>

## Sinergias entre el fototrampeo y tecnologías de seguimiento con emisores para el estudio de servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna

**Resumen:** El cambio global y la crisis climática son consecuencia de una inadecuada integración de las actividades humanas en los ecosistemas. Una manera de reducir este impacto es incorporar la biodiversidad y sus servicios en la gestión de los ecosistemas humanizados y para ello necesitamos conocer las especies que realizan servicios ecosistémicos clave y las características de estos servicios. En este artículo analizamos cómo el fototrampeo combinado con técnicas de seguimiento con emisores permite caracterizar funciones y servicios de la avifauna. Sintetizamos e integramos trabajos realizados por nuestro equipo de investigación con estas técnicas y presentamos resultados inéditos sobre dos importantes servicios: la dispersión de semillas grandes y la regulación de plagas. Los tres objetivos son: analizar (1) la eficacia del fototrampeo, combinado con técnicas de seguimiento con emisores, para identificar la avifauna responsable del servicio y caracterizarlo; (2) la interferencia del fototrampeo en el comportamiento de la avifauna; y (3) los problemas técnicos de las cámaras. Las técnicas de fototrampeo fueron clave para estudiar servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna. Permitieron caracterizar y cuantificar aspectos fundamentales que difícilmente podrían obtenerse con otras técnicas. El fototrampeo pudo combinarse con técnicas de seguimiento con emisores de radiofrecuencia y de satélite, generando sinergias que permitieron mejorar los resultados. Sin embargo, sin las medidas adecuadas, los fallos técnicos y las interferencias en el comportamiento de las aves diana pueden limitar el alcance de las investigaciones y afectar negativamente a las especies estudiadas. El uso combinado del fototrampeo y del seguimiento con emisores constituye una metodología de enorme potencial para el conocimiento ecológico.

**Palabras clave:** aves rapaces; control biológico de plagas; córvidos; dispersión de bellotas; emisores de radiofrecuencia y GPS; servicios ecosistémicos

## Synergies between camera-trapping and tracking technologies using transmitters for the study of ecosystem services provided by birds

**Abstract:** Global change and the climate crisis stem from the insufficient integration of human activities within ecosystems. One effective approach to mitigating this impact is to incorporate biodiversity and its associated services into the management of anthropogenic ecosystems. To achieve this, it is essential to identify the species that provide key ecosystem services and understand the characteristics of these services. We examine how camera-trapping, in conjunction with monitoring techniques using transmitters, enables the characterization of specific functions and services offered by birds. We synthesize and integrate the research team's efforts employing these techniques and present novel findings concerning two critical services: the dispersal of large seeds and pest regulation. The three primary objectives are to analyze: (1) the effectiveness of camera-trapping combined with transmitter tracking techniques for identifying functional bird species and characterizing their services; (2) the impact of camera-trapping on the behavior of target bird species; and (3) the technical challenges and limitations associated with cameras. Our findings demonstrate that camera-trapping techniques are key for studying the ecosystem services provided by birds. These methods facilitate the characterization and quantification of fundamental aspects that are often difficult to obtain through alternative techniques. Furthermore, camera-trapping can be easily integrated with other methodologies, thereby generating synergies that enhance research outcomes. However, if appropriate precautions are not taken, technical malfunctions and behavioral interferences in target bird species may limit the scope of the research and adversely impact the species under study. The

combined application of camera-trapping with transmitter tracking techniques represents a methodology with significant potential for advancing ecological knowledge.

**Keywords:** acorn dispersal; biological pest management; corvids; ecosystem services; GPS and radiofrequency transmitters; raptors

## Introducción

### Servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna

El contexto actual de cambio global y crisis climática está provocado, entre otros factores, por una deficiente integración de las actividades humanas en los ecosistemas (Liu et al. 2007). La producción agraria y forestal intensiva se soporta mediante técnicas de fertilización y control de plagas poco sostenibles desde el punto de vista de la biodiversidad y la gestión de los recursos naturales (Bommarco et al. 2013). Una manera de avanzar hacia sistemas agroforestales más sostenibles es incorporar los servicios que proporciona la biodiversidad en los sistemas de producción (Landis 2017). Por ejemplo, los métodos de control biológico de plagas basados en depredadores naturales, servicio de regulación según la clasificación del Millennium Ecosystem Assessment (2005), permiten reducir la aplicación de plaguicidas, la contaminación que producen en alimentos, suelos, sistemas acuáticos y cadenas tróficas, y reducir el impacto de los plaguicidas sobre la salud humana y la biodiversidad (Monteagudo et al. 2023).

Otra manera de avanzar hacia sistemas agroforestales más sostenibles es reconducir la política forestal de repoblaciones masivas, a veces poco exitosas, hacia políticas de facilitación o aceleración de la regeneración natural forestal incorporando los servicios de dispersión de semillas que proporciona la fauna. Por ejemplo, si conocemos los dispersores de bellotas y su comportamiento dispersivo en distintos contextos ambientales, podremos facilitar estos procesos y amplificarlos en el paisaje, generando un incremento de la diversidad biológica y un importante ahorro económico (Hougnier et al. 2006). Este servicio suele enclavarse dentro de los servicios de soporte (o de apoyo), según la clasificación del Millennium Ecosystem Assessment (2005), con implicaciones en servicios de aprovisionamiento y culturales. Desafortunadamente, en muchos casos desconocemos la identidad de las especies más importantes desde un punto de vista funcional (aquellas con capacidad para proporcionar más servicios ecosistémicos) y las características de sus funciones en los ecosistemas. Esto limita nuestra capacidad para incorporar la biodiversidad en los sistemas de gestión y desarrollar sistemas agroforestales más sostenibles, es decir, con más biodiversidad y más resilientes a las perturbaciones.

La avifauna es un grupo de vertebrados singular. Su capacidad de vuelo les permite sortear barreras físicas mejor que otros vertebrados y desplazarse entre teselas que están alejadas a escala del paisaje, una escala espacial relevante para organizar sistemas agrarios más sostenibles (Boesing et al. 2017). La avifauna es un componente esencial de las "high mobile link species", con capacidad para realizar funciones variadas y conectar funcionalmente las teselas de los ecosistemas (Lundberg y Moberg 2003). Aunque se han descrito servicios ecosistémicos de soporte, aprovisionamiento, regulación y culturales proporcionados por la avifauna (Whelan et al. 2008), queda mucho trabajo por hacer para conseguir una cuantificación y caracterización adecuadas de los mismos, que permita incorporar la avifauna a los sistemas de gestión y producción para hacerlos más sostenibles (Rebollo et al. 2019; García et al. 2021, 2024; González-Varo et al. 2023).

En este artículo sintetizamos e integramos los trabajos realizados por el equipo de investigación combinando el fototrampeo con técnicas de seguimiento de la actividad de la avifauna. Por un lado, combinamos el fototrampeo y el seguimiento con radiotransmisores (emisores de radiofrecuencia) para analizar el papel de los córvidos en la dispersión de semillas grandes (principalmente bellotas) que dependen de la sinzoocoria para su dispersión. La sinzoocoria es un mutualismo en el que los animales transportan voluntariamente las bellotas y las almacenan para su posterior consumo (García et al. 2010; Farwig y Berens 2012). Algunas especies de córvidos, como el arrendajo euroasiático (*Garrulus glandarius*) y la urraca común (*Pica pica*), intervienen decisivamente en los procesos de regeneración natural de los bosques de *Quercus* (Pesendorfer et al. 2016; Gómez et al. 2019), un género de plantas leñosas con elevada importancia ecológica, económica y social en áreas extensas de Iberia y del hemisferio norte (Gil-Pelegrín et al. 2017). En Iberia hay una elevada variedad de especies de córvidos y desconocemos el papel de las diferentes especies en la dispersión de quercíneas u otras plantas en distintos contextos ambientales. También desconocemos detalles fundamentales de su actividad dispersiva como la distancia de dispersión, las características de los lugares de almacenamiento o los procesos de recuperación-consumo de bellotas en los almacenes.

Por otro lado, combinamos técnicas de fototrampeo y de seguimiento con emisores GPS (satélite) para estudiar el papel de las aves rapaces en la regulación de plagas agrícolas. Tomamos como modelo el abejero europeo (*Pernis apivorus*, de aquí en adelante, abejero) y la avispa asiática (*Vespa velutina nigrithorax*, de aquí en adelante, velutina), una avispa exótica invasora que genera importantes problemas económicos, ecológicos y sanitarios a nivel europeo (Rojas-Nossa y Calviño-Cancela 2020). La velutina se introdujo accidentalmente en Francia desde China en 2004, expandiéndose rápidamente por el continente europeo (Arca et al. 2015; Budge et al. 2017). En 2014, la Unión Europea la incluyó en la lista de especies exóticas invasoras que causan mayores daños (UE1143/2014). Pocos estudios han analizado la capacidad de las aves rapaces para controlar plagas agrícolas y formar parte de programas de lucha integral contra las plagas (Integrated Pest Management, IPM) (Monteagudo et al. 2023). En 2018 iniciamos una línea de investigación sobre el abejero europeo, una de las rapaces diurnas europeas más desconocidas (Hagemeyer y Blair 1997). Es una rapaz migratoria que se reproduce en Europa y Asia occidental e inverna en África subsahariana (Gamauf y Haring 2004). Su estancia en Europa es corta, principalmente de mayo a agosto, ambos inclusive. Durante el periodo reproductor se comporta como un depredador especialista que consume principalmente vespídeos eusociales (Cramp y Simmons 1980) y podría incluir la velutina en su dieta. Ataca los avisperos y lleva al nido fragmentos de panales cargados con larvas y pupas con las que alimenta a las crías.

## Objetivo

### Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es mostrar el uso de técnicas de fototrampeo combinadas con técnicas de seguimiento con emisores para estudiar dos servicios ecosistémicos de la avifauna: la dispersión de semillas grandes y la regulación de plagas. Es un trabajo de revisión donde se sintetizan e integran trabajos realizados por el grupo de investigación, aunque también se presentan resultados inéditos sobre la interferencia del fototrampeo en el comportamiento de las especies diana y sobre los fallos técnicos detectados en nuestros estudios.

### Objetivos específicos

Mostrar la eficacia del fototrampeo y las técnicas de seguimiento con emisores para identificar la avifauna que lleva a cabo servicios ecosistémicos de control de plagas y dispersión de semillas, y caracterizar el servicio. Este objetivo incluye identificar las especies de aves implicadas y el tipo de individuos (sexo, edad) que proporcionan el servicio. Además, cuantificar el servicio y caracterizar su escala espacial y temporal mediante el seguimiento con emisores de aves y semillas. Este análisis contribuye a resolver aspectos relacionados con la identificación precisa de los proveedores de servicios ecosistémicos y la comprensión de la dinámica temporal y espacial de estos servicios.

Analizar la interferencia del fototrampeo en el comportamiento de la avifauna diana. Se examinan los cambios en el comportamiento de las aves en presencia de las cámaras de fototrampeo y se determinan los tiempos de habituación a las cámaras. Esto aporta conocimiento clave sobre las limitaciones metodológicas del fototrampeo que pueden influir en la interpretación de los resultados obtenidos.

Analizar los problemas técnicos de las cámaras de fototrampeo. Se tipifican y cuantifican los principales fallos técnicos de los equipos, discutiendo las posibles soluciones. Esta evaluación contribuye a mejorar la fiabilidad de las técnicas utilizadas y optimizar su aplicación en futuros estudios.

Con toda esta información, realizamos una síntesis final sobre la contribución del fototrampeo al estudio de los servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna y las sinergias entre el fototrampeo y las tecnologías de seguimiento con emisores. Evaluamos no solo la eficacia del fototrampeo para identificar especies proveedoras de servicios ecosistémicos, sino también las interferencias del fototrampeo en el comportamiento de las especies diana y los problemas técnicos asociados al fototrampeo. Además, caracterizamos los servicios ecosistémicos combinando el fototrampeo con técnicas de seguimiento por radiofrecuencia o GPS. Esta combinación de técnicas representa un avance metodológico significativo en el estudio de las funciones de las aves en los ecosistemas y proporciona una base sólida para futuras investigaciones sobre sus servicios ecosistémicos.

## Líneas de investigación desarrolladas por el equipo y técnicas de fototrampeo y de seguimiento con emisores utilizadas

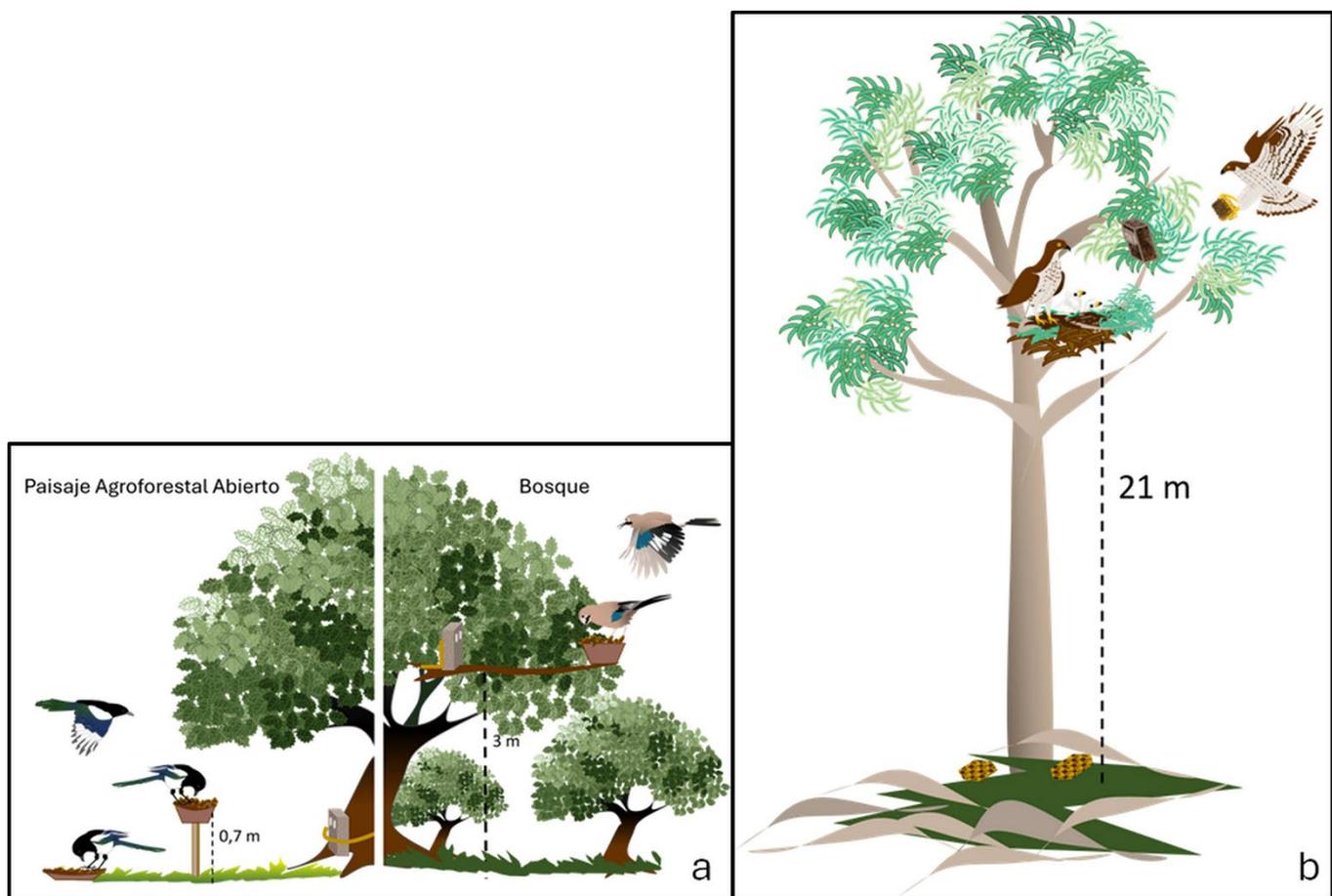
### Interacción córvido-bellota

En 2009 iniciamos una línea de investigación sobre dispersión de bellotas y otras semillas grandes por córvidos y, en menor medida, ratones, que continúa en la actualidad (Pérez-Camacho et al. 2023). Las áreas de estudio estaban ubicadas en Uceda (Guadalajara) y Alcalá de Henares (Madrid), en un ecosistema agroforestal boscoso y otro adehesado, respectivamente, ambos dominados por encina y con clima mediterráneo continental (Martínez-Baroja et al. 2019, 2021; Pérez-Camacho et al. 2023). El fototrampeo fue una herramienta esencial y los modelos de cámaras evolucionaron a lo largo del tiempo: Bushnell Trailscout 2.1 MP, Moultrie MCG-12634, Browning Dark Ops HD Elite y, finalmente, Browning Spec Ops (Tabla 1). Las cámaras se instalaron en las proximidades de comederos, donde depositábamos las bellotas, para grabar en vídeo su remoción por dispersores y consumidores (Fig. 1). Se configuraron para grabar un vídeo de la calidad más alta posible (de 240p a 1080p según modelo) de un minuto de duración cada vez que detectaban movimiento, y el menor tiempo posible de pausa entre vídeos. Estaban instaladas entre 1.2 y 2 m de distancia al comedero, en el suelo o en árboles a poca altura (máx. 3 m), lo que permitió comprobar fácil y regularmente el funcionamiento de las cámaras y los accesorios, por ejemplo, las baterías (Fig. 2).

Para el seguimiento posterior de las bellotas removidas por los córvidos, se insertó dentro de la bellota un emisor de radiofrecuencia (PIP5 de Biotrack) con la antena enrollada sobre sí mismo siguiendo la metodología de Pons y Pausas (2007) (Fig. 3). Las bellotas con emisor tenían un aspecto similar a las bellotas normales y fueron removidas de los comederos por los córvidos de manera similar. Las bellotas dispersadas por los córvidos se localizaron posteriormente mediante un receptor de radiofrecuencia con una antena unidireccional Yagi (Biotrack). Para la localización exacta se usó un detector de metales de mano (White's Auto-Scan Personal Search Detector) (Castro et al. 2017; Martínez-Baroja et al. 2019, 2021; Pérez-Camacho et al. 2023). Para identificar en los vídeos a los individuos que utilizaban los comederos, algunos ejemplares fueron capturados (33 adultos y 136 pollos), marcados con anillas de colores, y los adultos fueron sexados mediante análisis genéticos (19 hembras y 14 machos). Esto permitió asignar a individuos concretos (según sexo, estado reproductor, etc.) los comportamientos grabados, así como cuantificar las bellotas dispersadas y conocer su patrón espacial de dispersión (Martínez-Baroja et al. 2019, 2021).

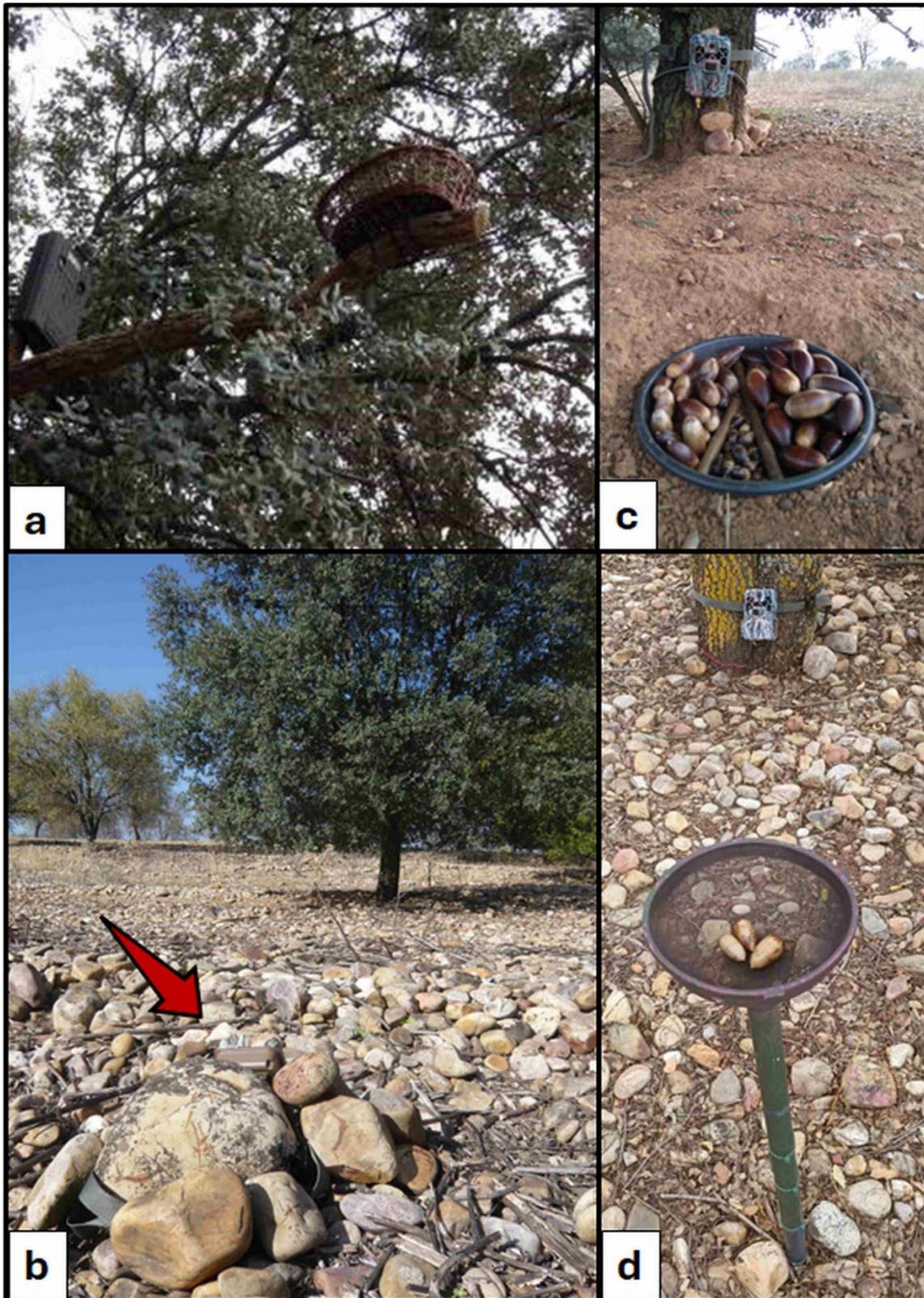
**Tabla 1.** Características de las cámaras de fototrampeto utilizadas en los estudios analizados en este artículo.**Table 1.** Characteristics of the camera traps used in the studies analysed in this article.

Marca y modelo	Resolución de imagen (megapíxeles)	Vídeo (píxeles)	Flash	Alcance del sensor de movimiento	Tiempo de disparo	Conectividad	Filmación continua al detectar movimiento
Bushnell Trailscout 2.1 MP	2.1 MP	Vídeo básico 240p sin sonido	Infrarrojo	Hasta 14 m	~1 segundo	No	No
Moultrie MCG-12634	10 MP	HD 720p con sonido	Infrarrojo de baja luminosidad	21 m	0.9 segundos	No	No
Browning Dark Ops HD Elite	10 MP	Full HD 1080p con sonido	Infrarrojo invisible	24 m	0.4 segundos	Bluetooth	No
Browning Spec Ops model BTC-8FHD-P	20 MP	Full HD 1080p con sonido	LED blanco/infrarrojo	25 m	0.2 segundos	Salida HDMI, bluetooth	Sí
Spromise S378 4G	12 MP	Full HD 1080p con sonido	Infrarrojo invisible	30 m	0.4 segundos	4G LTE, SMS, control remoto	Sí



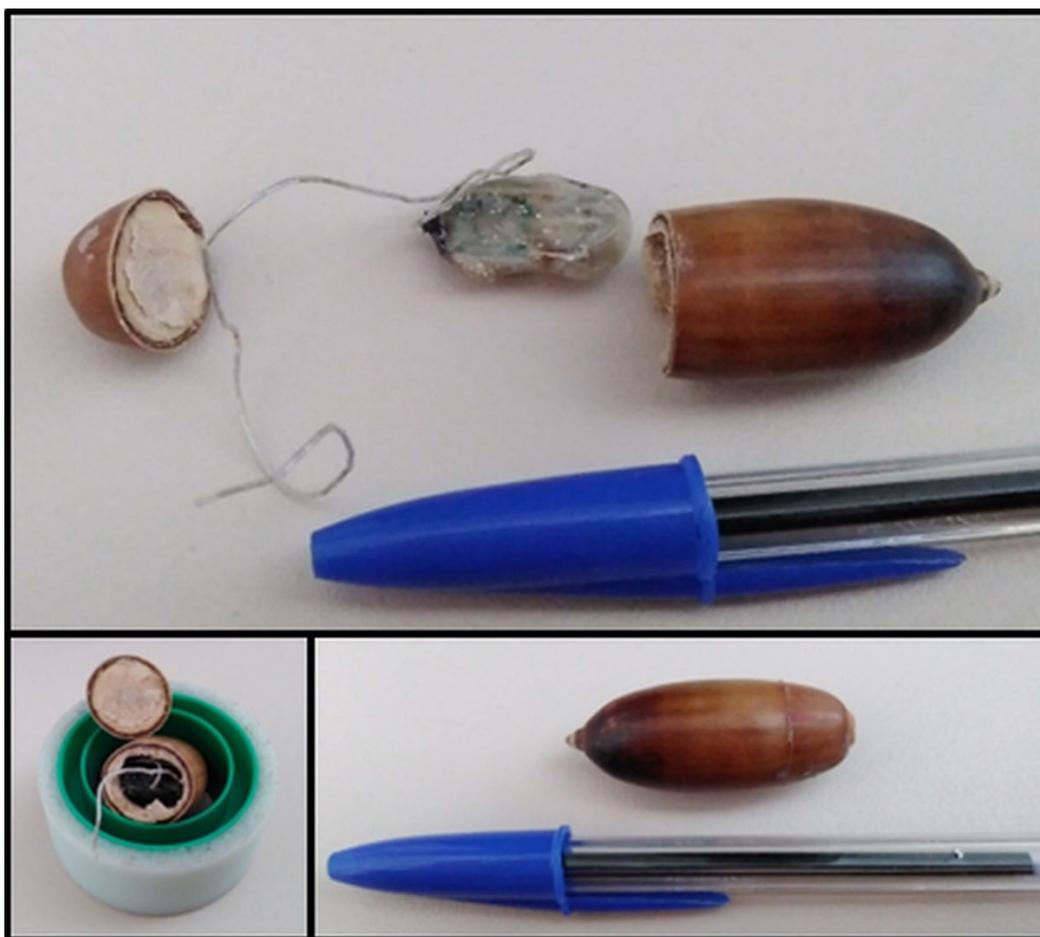
**Figura 1.** Este estudio evalúa sistemas de fototrampeto instalados en circunstancias ambientales y de trabajo contrastadas. En el caso de la interacción córvido-bellota (a), las cámaras fueron instaladas en lugares fácilmente accesibles con el objetivo de registrar el comportamiento dispersivo de bellotas por los córvidos en la copa de encinas, en comederos situados sobre el suelo, en comederos situados al final de barras verticales a 70 cm sobre el suelo, o en comederos situados en ramas de árboles situadas a 3 m de altura. En el caso de la interacción abejero-velutina (b), las cámaras fueron instaladas en las proximidades de los nidos de abejero, en lugares muy poco accesibles situados normalmente en eucaliptos a una altura media de 21 m sobre el suelo.

**Figure 1.** This study assesses camera-trapping systems deployed under diverse environmental conditions and operational settings. For the corvid-acorn interaction (a), cameras were installed in easily accessible locations to capture the acorn dispersal behavior of corvids, including behaviours in the crowns of oak trees, feeders placed on the ground, feeders mounted on vertical poles 70 cm above the ground, and feeders positioned on tree branches at a height of 3 meters. For the honey buzzard-velutina interaction (b), cameras were installed near honey buzzard nests, in highly inaccessible locations, typically within eucalyptus trees at an average height of 21 meters above the ground.



**Figura 2.** Montajes de las cámaras de fototrampeo en los distintos experimentos de la interacción córvido-bellota: a) comedero para arrendajo con cámara de fototrampeo situado en la copa de una encina a unos 3 m de altura sobre el suelo; b) cámara de fototrampeo enfocando hacia una encina con bellotas (sin comedero); c) comedero para urraca con cámara de fototrampeo situado sobre el suelo; d) comedero para urraca con cámara de fototrampeo situado al final de una barra vertical de unos 70 cm sobre el suelo. Las cámaras más modernas en b, c y d tienen conectadas baterías externas.

**Figure 2.** Camera trap setups used in various experiments investigating the corvid-acorn interaction: a) a jay feeder equipped with a camera trap mounted in the crown of an oak tree, approximately 3 meters above the ground; b) a camera trap aimed at an oak tree containing acorns (without a feeder); c) a magpie feeder with a camera trap placed on the ground; d) a magpie feeder with a camera trap installed at the end of a vertical pole, approximately 70 cm above the ground. The cameras used in setups b), c), and d) are connected to external batteries.



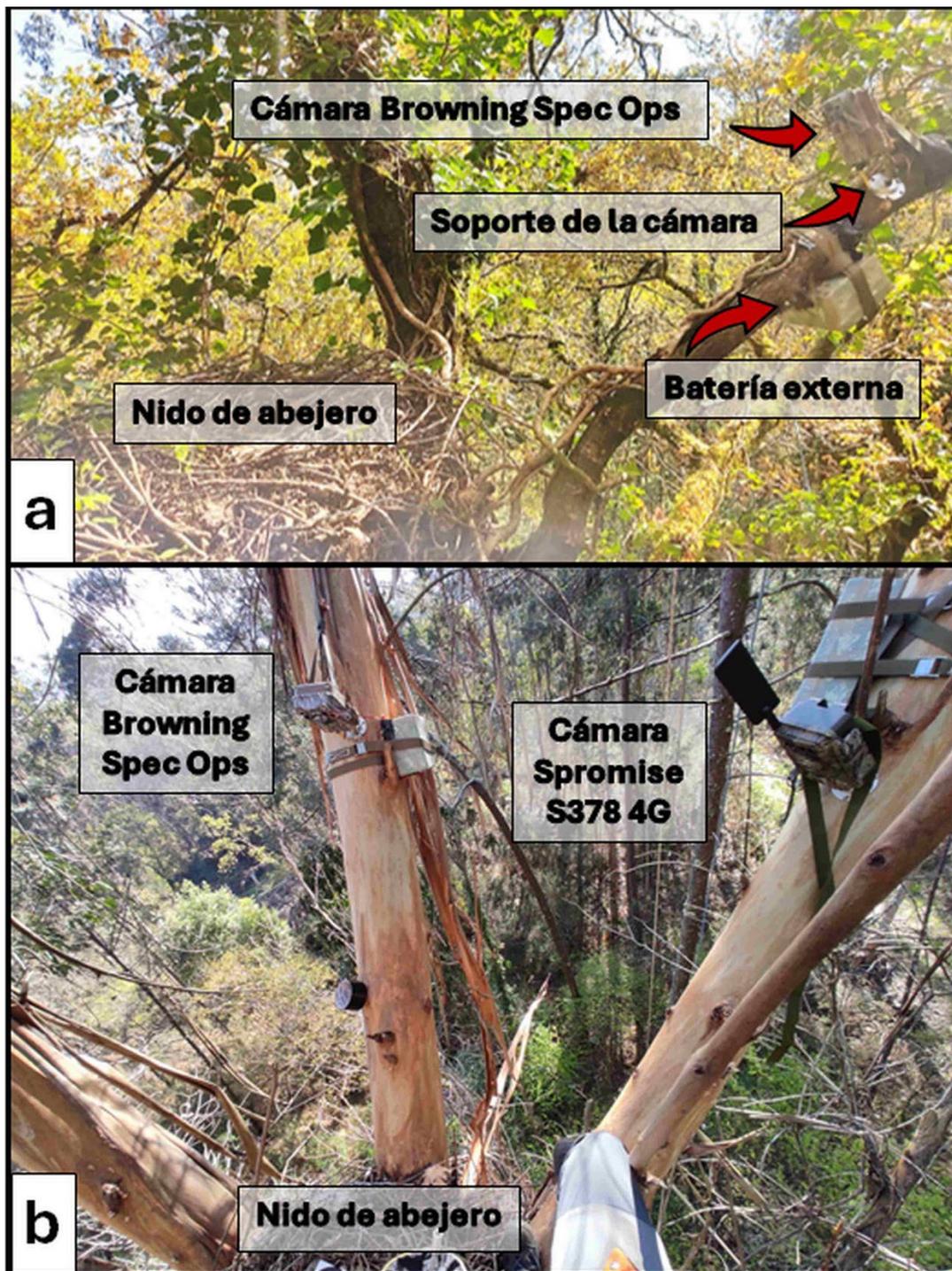
**Figura 3.** Inserción del radiotransmisor y su antena en el interior de la bellota en los estudios de dispersión por córvidos. El aspecto externo, la consistencia y el peso de la bellota con radiotransmisor son similares al de una bellota normal.

**Figure 3.** Insertion of a radio transmitter and its antenna into an acorn for studies on dispersal by corvids. The external appearance, consistency, and weight of the acorn containing the radio transmitter remain similar to those of a typical acorn.

### Interacción abejero-velutina

Para conocer si el abejero depredaba sobre la velutina, localizar y conocer el tipo de avisperos atacados, y cuantificar el grado de destrucción provocado en los mismos, en el periodo 2018-2022 instalamos cámaras de fototrampeo modelo Browning Spec Ops en 33 nidos de abejero estudiando su dieta a través del registro fotográfico (Fig. 1). El área de estudio estaba ubicada en la península del Morrazo (Pontevedra), en un ecosistema agroforestal boscoso con eucaliptos de repoblación y manchas de bosque autóctono en clima atlántico (Martín-Ávila et al. 2024). El abejero construyó sus nidos sobre grandes árboles a una altura media de 21 m (rango 7.4 – 34.8 m). En los tres primeros años instalamos cámaras modelo Browning Spec Ops en los nidos a principios de julio, una vez que los pollos eran capaces de termoregular y podían mantener su temperatura corporal en ausencia de los adultos, a partir de 14 días de edad (Tabla 1). Los dos últimos años instalamos cámaras modelo Browning Spec Ops Edge en abril, antes de que los abejeros adultos llegaran a Europa, en los nidos ocupados la temporada de reproducción anterior. Esto permitió obtener el registro fotográfico de todas las etapas de la reproducción (reparación del nido, incubación, crianza de los pollos). En aquellos casos en los que los abejeros ocuparon otros nidos, instalábamos las cámaras a principios de julio, tal y como lo habíamos realizado en años anteriores. Las cámaras estaban instaladas en las proximidades del nido, a una altura elevada y a una distancia de 1 a 2 metros del nido (Figs. 1 y 4). Son lugares poco accesibles excepto con sistemas de escalada especializados. Debido a la poca accesibilidad y a las molestias que se ocasionarían a los individuos reproductores, la comprobación de las cámaras y accesorios (p.e. baterías) sólo podía realizarse en contadas ocasiones, por lo que fueron necesarios equipos de fototrampeo con elevada autonomía energética y fiabilidad.

Para localizar los avisperos atacados por los abejeros, durante dos años capturamos 11 abejeros adultos y les instalamos emisores GPS con señal registrada por satélite (modelo Ornitrac-20 de Ornitela®) que permitían el registro digital de la posición de los individuos y, por tanto, el análisis geoespacial de sus movimientos mediante softwares especializados (SIG) (Fig. 5). En los 17 nidos donde teníamos adultos de abejero con emisores GPS, además de la cámara Browning Spec Ops, instalamos una segunda cámara Spromise S378 4G que enviaba fotos al ordenador en tiempo real cada vez que detectaba la llegada de adultos al nido con presas (Fig. 4; Tabla 1). Cuando detectábamos que el abejero había llevado un panel de velutina al nido, podíamos rastrear las posiciones del adulto y localizar y monitorear los avisperos atacados en el campo.



**Figura 4.** Montaje de las cámaras de fototrampeo y baterías externas en las proximidades de los nidos de abejero europeo: a) montaje con una sola cámara Browning Spec Ops; y b) montaje con dos cámaras, una Browning Spec Ops y una Spromise S378 4G (en esta última puede apreciarse la antena que permite enviar las fotos directamente al ordenador).

**Figure 4.** Installation of camera traps and external batteries near European honey-buzzard nests: a) an installation with a single Browning Spec Ops camera; and b) an installation with two cameras, including a Browning Spec Ops and a Spromise S378 4G (which features an antenna allowing direct photo transmission to a computer).



**Figura 5.** Hembra de abejero fotografiada en el nido alimentando a su pollo con larvas de *Vespa velutina*, en la que se aprecia el emisor GPS (satélite) sujeto a su espalda mediante un arnés adaptado a su tamaño. Este emisor tiene un pequeño panel solar que permite la recarga de la energía que necesita. La foto está tomada con la cámara Browning Spec Ops. En la parte superior derecha se muestra una imagen del emisor GPS completo.

**Figure 5.** A female honey-buzzard photographed at the nest as she feeds her chick with larvae of *Vespa velutina*. The satellite GPS transmitter is visible on her back, secured with a harness tailored to her size. This transmitter includes a small solar panel that recharges it using solar energy. The photograph was taken using a Browning Spec Ops camera. A complete image of the GPS transmitter appears in the upper right corner.

## Eficacia del fototrampeo para identificar la avifauna que realiza los servicios ecosistémicos y caracterizar los servicios

### Interacción córvido-bellota

En un estudio llevado a cabo en un bosque mixto de encina y quejigo, se instalaron tres cámaras Bushnell Trail Scout 2.1 MP en las copas de las encinas, registrando más de 600 vídeos que documentaron la visita de aves a los comederos (Pérez-Camacho et al. 2023). Se identificaron seis especies de aves en total, aunque el 99% de los registros correspondieron a arrendajos, que fueron la única especie observada manipulando, consumiendo y retirando bellotas (Vídeos S1 y S2). Se identificaron cuatro comportamientos de los arrendajos. 1) Selección de bellotas: En el 25% de los vídeos, los arrendajos seleccionaron bellotas tras manipularlas repetidamente con el pico, dejándolas caer y eligiendo finalmente una. 2) Consumo en el sitio: En el 4% de los casos, las bellotas seleccionadas fueron consumidas en el lugar. 3) Transporte de bellotas: En el 35% de los vídeos se observó a los arrendajos volando con bellotas intactas alejándose del comedero. 4) Otros comportamientos (34% restante) (Tabla 2). De los vuelos, el 66% implicó una sola bellota en el pico, el 3% una bellota en la bolsa gular, y el 31% el transporte simultáneo de dos bellotas (una en la bolsa gular y otra en el pico).

**Tabla 2.** Comportamiento de los arrendajos (*Garrulus glandarius*) en los comederos.

**Table 2.** Eurasian jay (*Garrulus glandarius*) behavior at feeders.

Comportamiento observado	Porcentaje de vídeos (%)
Selección de bellotas	25
Consumo en el comedero	4
Transporte de bellotas	35
- Una bellota en el pico	66
- Una bellota en la bolsa gular	3
- Dos bellotas (pico y bolsa gular)	31
Otros comportamientos	34

La combinación de fototrampeo y el uso de radiotransmisores insertados en las bellotas permitió determinar que los arrendajos almacenaron el 64.2% de las bellotas (192 de un total de 299 bellotas radiomarcadas), mientras que el 35.8% restante (107 bellotas) fueron consumidas en el comedero o en sus inmediaciones. Este uso complementario de cámaras y radiotransmisores confirmó el comportamiento de almacenamiento disperso de los arrendajos, caracterizado por depositar una bellota en cada sitio de almacenamiento y exhibir un comportamiento compulsivo de acopio (Pérez-Camacho et al. 2023). Además, se identificaron variaciones en el proceso de almacenamiento dependiendo de la posición de los árboles madre y la estructura del hábitat, sugiriendo ligeras diferencias en el comportamiento individual de los arrendajos.

En formaciones forestales abiertas con encinas y quejigos dispersos, se instalaron 14 cámaras Browning Dark Ops HD Elite que proporcionaron más de 400 vídeos que mostraban aves cogiendo bellotas de la copa de las encinas, el 65% de las aves fueron urracas. También seis cámaras del mismo tipo proporcionaron más de 200 vídeos que mostraban aves y mamíferos cogiendo bellotas del suelo bajo las encinas, el 48% de los cuales fueron de urraca (Martínez-Baroja et al. 2019). Posteriormente, anillando urracas, grabando en vídeo con 14 cámaras más de 7500 eventos de remoción de bellotas en comederos y colocando radiotransmisores a 337 bellotas, determinamos que (1) la urraca era la única especie de córvido que almacenó bellotas, almacenando el 45% de la producción anual en escondites individuales en el suelo; (2) las parejas reproductoras de urraca, y especialmente los machos, fueron los principales dispersores de bellotas; y (3) cada urraca reproductora almacenó entre 169 y 1372 bellotas durante el periodo de dispersión (6 semanas). El uso combinado de estas dos técnicas permitió demostrar que la urraca es una dispersora masiva y efectiva de bellotas en sistemas forestales abiertos (Martínez-Baroja et al. 2019).

Además, la obtención de información espacial adicional, como la posición de los nidos de urraca y las características espaciales de sus hábitats, demostró que el almacenamiento de bellotas es consecuencia de una toma de decisiones jerárquica y estructurada. Los individuos eligen los sitios de almacenamiento guiados primero por la territorialidad y luego por sus preferencias de ubicación a diferentes escalas espaciales (Martínez-Baroja et al. 2021). Este comportamiento influye en la estructura espacial de la población de plantas de quercíneas dispersadas. El fototrampeo permitió observar el proceso de almacenamiento de algunas bellotas por las urracas en distintos sustratos tales como tierra removida, hojarasca, suelo pedregoso, etc. Las urracas seleccionan el sitio de almacenamiento, generalmente tras varios intentos, introducen la bellota en el suelo por su parte afilada y martillean con el pico en su parte más ancha. Posteriormente ocultan la bellota con el material circundante: tierra, hojas secas, hojas de herbáceas arrancadas por ellas, o piedras, en ocasiones muy grandes (hasta 696 g) para el peso de las urracas (184 g hembras y 201 g machos). Esporádicamente, también grabamos la recuperación de bellotas almacenadas por la urraca (Vídeos S3 a S14). Miembros de nuestro equipo de investigación de la Universidad de Granada han estudiado la dispersión de nueces por urraca también con estas técnicas (Castro et al. 2017; Molina-Morales et al. 2019, 2020, 2023).

### Interacción abejero-velutina

Las 33 cámaras Browning Spec Ops instaladas en los nidos de abejero realizaron un total de 996 476 fotos (rango 2089 – 99 107 por cámara). El análisis del registro fotográfico permitió identificar un total de 5893 presas llevadas al nido por los adultos (rango 0 – 419 presas por cámara), siendo el mayor número de presas del abejero registradas hasta la fecha (Rebollo et al. 2023; Martín-Ávila et al. 2024). El 82% de las presas fueron trozos de panales de véspidos y, en menor medida, de otros himenópteros. La velutina fue consumida por todas las parejas de abejero estudiadas, siendo la segunda presa más importante en el área de estudio (el 24.2% de las presas llevadas al nido fueron panales de velutina, Martín-Ávila et al. 2024) (Vídeos S15 y S16). No detectamos ningún caso de depredación sobre la abeja doméstica (*Apis mellifera*). Las fotos permitieron diferenciar panales con celdillas grandes y panales con celdillas pequeñas, pero fue necesario recoger muestras de ambos tipos de panales en el nido del abejero y sus inmediaciones para identificar los panales hasta nivel específico en el laboratorio. El 99% de los panales con celdillas grandes pertenecían a velutina y el 99.2% de los panales de celdillas pequeñas a avisperos comunes (*Vespula vulgaris* y *V. germanica*). El 16.7% de las presas fueron pequeños vertebrados (reptiles, aves, anfibios y mamíferos), siendo su presencia infravalorada en los estudios anteriores basados en el análisis de restos de presas (Martín-Ávila et al. 2024). El registro fotográfico permitió estimar el número y tamaño de los panales transportados al nido y estimar aproximadamente el número de avisperos de velutina destruidos por el abejero (Rebollo et al. 2023). Para ello se tuvo en cuenta el número y el tamaño de los panales en los avisperos de velutina durante la estancia del abejero en Europa (Rome et al. 2015). Por tanto, el fototrampeo fue un procedimiento eficaz y poco sesgado de estudio de la dieta del abejero, como se demostró también en estudios de la dieta de otras rapaces (García-Salgado et al. 2015). Debido al notable dimorfismo sexual en el plumaje de los abejeros, el registro fotográfico está permitiendo analizar por separado las presas aportadas por el macho y la hembra, y conocer el papel de ambos sexos durante el periodo reproductor.

La utilización simultánea de cámaras Spromise S378 4G instaladas en 17 nidos de abejero y de emisores GPS (satélite) instalados en los adultos de abejero nos permitió conocer la localización muy aproximada de 572 avisperos atacados (206 de velutina y 366 de otros véspidos). De ellos pudimos localizar físicamente en el campo un total de 307 avisperos atacados. El 86% de los avisperos de velutina fueron avisperos primarios (avisperos anteriores al avispero secundario o definitivo) situados en el suelo y mayoritariamente dentro de manchas forestales (Vídeo S17). El grado de destrucción inferido fue completo en el 89.25% de los casos. Por tanto, el fototrampeo junto con tecnologías de seguimiento GPS de los abejeros adultos permitió abordar los tres objetivos propuestos en nuestra investigación. Otras investigaciones complementarias, no basadas en técnicas de fototrampeo, permitieron contestar a otra pregunta clave: si esta presión de depredación tiene un efecto demográfico sobre la velutina y provoca una reducción en el número de obreras y avisperos alrededor de los nidos de abejero (Martín-Ávila et al. 2025).

## Cambios en el comportamiento de la avifauna en presencia de las cámaras de fototrampeo

### Interacción córvido-bellota

Los cambios en el comportamiento de los córvidos en presencia del equipo cámara-comedero fueron dependientes de la especie de córvido. En los vídeos se aprecia que los arrendajos modificaron poco su comportamiento. En algún caso se observó que miraban detenidamente la cámara, a veces desde muy cerca, y erizaban las plumas del píleo, como señal de nerviosismo, pero su comportamiento en los comederos fue tranquilo en la mayoría de las grabaciones. Utilizamos distintos tipos de comedero: metálicos, de mimbre, etc. y con distintas formas y colores, con pintura de camuflaje y sin ella, sin observar diferencias apreciables de comportamiento.

Sin embargo, la urraca es una especie neófoba que se mostró mucho más recelosa con el equipo cámara-comedero. El comedero fue el elemento que produjo más perturbaciones en el comportamiento de las urracas. Así, el tipo de comedero fue clave para nuestro estudio. Ciertos tipos de comederos no fueron visitados ninguna vez por las urracas, otros solo ocasionalmente y otros fueron usados con diferencias de comportamiento entre individuos (Figura S3 en [Martínez-Baroja et al. 2019](#)). Los comederos que mejor funcionaron con las urracas fueron los situados sobre el suelo, que consistieron en un plato circular de plástico de 20 cm de diámetro semienterrado con un agujero en el centro y fijado al suelo con un clavo, y que los utilizamos sólo en experimentos concretos porque también son accesibles a ratones de campo y conejos. Tras ellos, los comederos situados a 70 cm del suelo (en el extremo de una barra vertical que nos permitía excluir a ambos mamíferos; [Figs. 1 y 2](#)). Estos comederos fueron fabricados con un colador doméstico semiesférico de 17 cm de diámetro con malla metálica fina para que drenase el agua de lluvia y fueron pintados con colores del medio para camuflarlos. Aunque una buena parte de las urracas se acostumbró a estos comederos tras un tiempo, otra fracción de la población presentó un comportamiento nervioso al retirar las bellotas, posándose en el comedero tras varios intentos de subir a él desde el suelo o una rama cercana, deteniéndose el menor tiempo posible y cogiendo una sola bellota lo más rápidamente posible. Los individuos más recelosos retiraban bellotas de los comederos “al vuelo”, sin llegar a posarse en ellos. Otros individuos nunca llegaron a vencer su miedo y, tras varios intentos infructuosos de posarse en el comedero, desistieron de retirar bellotas. Esta perturbación en el comportamiento natural de dispersión pudo provocar que infravaloráramos el potencial de dispersión de la urraca debido a 1) la fracción de la población que por miedo al comedero no dispersa bellotas desde el mismo; 2) la fracción de la población que dispersa pocas bellotas desde los comederos por su nerviosismo; y 3) todas las urracas no dispersan bellotas de los comederos hasta que se han acabado las bellotas en el campo. Es decir, empiezan el experimento con el almacén de bellotas “naturales” lleno, lo que pudo disminuir la tasa de almacenamiento de las bellotas de los comederos incluso en las urracas menos recelosas.

Aunque la cámara fue menos crítica que el comedero, la posición de la cámara también influyó en el comportamiento de la urraca. Cuando la cámara se fijó en el suelo (en la base de un tronco o una piedra) perturbó menos el comportamiento que cuando se instaló elevada, en el tronco o las ramas de la encina, a la altura del comedero o por encima. La distancia mínima de las cámaras al comedero fue de 1.2 – 1.5 m.

### Interacción abejero-velutina

Para analizar los cambios en el comportamiento del abejero en presencia de las cámaras de fototrampeo realizamos tres aproximaciones. En primer lugar, analizamos si la tasa de reocupación de nidos de abejero de la temporada anterior se vio afectada por la presencia de las cámaras en los nidos. Para ello, comparamos las tasas de reocupación de los nidos en el periodo 2018-2020 (un 25%), donde los nidos no tenían cámaras instaladas cuando llegaron los adultos en mayo, con las tasas de reocupación en el periodo 2021-2022 (un 17.6%), donde los nidos tenían dos cámaras instaladas (Browning Spec Ops y Spromise S378 4G). Aunque la tasa de reocupación de nidos fue menor en el periodo 2021-2022, no hubo diferencias significativas entre ambos periodos ( $\chi^2 = 0.27$ ,  $p = 0.68$ ,  $n = 33$  nidos, el  $p$  valor fue simulado a partir de 2000 iteraciones por el método de Montecarlo). La Chi-cuadrado utilizó los conteos de nidos ocupados y no ocupados del periodo 2018-2020 para estimar las frecuencias esperadas, y el conteo de nidos ocupados y no ocupados del periodo 2021-2022 para estimar las frecuencias observadas.

En segundo lugar, analizamos la respuesta de los abejeros a la presencia de las cámaras instaladas en julio, cuando había pollos en el nido. No aparecieron fotos donde los pollos miraran fijamente a la cámara el mismo día o los días siguientes a su instalación, lo que sugiere que los pollos ni siquiera se percataron de la presencia de las cámaras, lo que suele ocurrir en las rapaces ([García-Salgado et al. 2015](#)). En el caso de los adultos, en el 96.7% de los casos algún miembro de la pareja entró poco después de instalar la cámara, observándose un retraso medio de 143 minutos (rango 1 – 964 minutos). Sólo en uno de los nidos los adultos no entraron hasta dos días después. Aunque las hembras entraron a los nidos antes que los machos, las primeras con un retraso medio de 213.3 minutos (rango 1 - 964 minutos) y los segundos de 402.6 minutos (rango 1 – 1589 minutos), no hubo diferencias significativas en el test de Wilcoxon ( $W = 309$ ,  $p = 0.35$ ,  $n = 28$  nidos). En el 86.2% de los casos, la hembra durmió con los pollos desde la primera o la segunda noche tras la instalación de la cámara. Podríamos considerar ese porcentaje (86.2%) como el porcentaje de parejas que se habituaron a la cámara el mismo día o al día siguiente de su instalación. En un caso la hembra no durmió hasta cinco días después de instalar la cámara en el nido. Finalmente, en tres casos (10.3% de los casos) la hembra no durmió nunca en el nido una vez instalada la cámara. En uno de los tres casos la hembra tuvo un comportamiento diurno normal a partir de los cuatro días de la instalación. En los otros dos casos la hembra no regresó al nido, pudiendo ser casos de deserción de la hembra o que la hembra ya no estuviese presente cuando se instaló la cámara. En ningún caso hemos detectado deserción del nido por los machos adultos.

En tercer lugar, comparamos casos donde instalamos una cámara o dos cámaras el mismo día. El retraso en la entrada de los adultos al nido fue similar (sin diferencias significativas en el test de Wilcoxon,  $W = 90.5$ ,  $p = 0.76$ ,  $n = 28$  nidos), retraso medio

de 132.4 minutos (rango 1 – 461 minutos) en los nidos con una cámara y de 155.1 minutos (rango 1 – 964 minutos) en los nidos con dos cámaras. Los tiempos de habituación a las cámaras fueron menores en los nidos donde instalamos una sola cámara, aunque las diferencias no fueron significativas. Así, el 93.3% de las hembras durmieron en el nido la primera o segunda noche tras instalar una cámara, mientras que el 78.6% de las hembras lo hicieron en los nidos con dos cámaras ( $\chi^2 = 1.33$ ,  $p = 0.33$ ,  $n = 29$  nidos, el  $p$  valor fue simulado a partir de 2000 iteraciones por el método de Montecarlo). La Chi-cuadrado utilizó los conteos de hembras habituadas y no habituadas en los nidos con una cámara para estimar las frecuencias esperadas, y el conteo de hembras habituadas y no habituadas de los nidos con dos cámaras para estimar las frecuencias observadas. Los tres casos donde la hembra no durmió posteriormente en el nido con los pollos (incluidos los dos casos de posible deserción de la hembra) ocurrieron en nidos donde instalamos dos cámaras.

Nuestros resultados muestran que la instalación de cámaras de fototrampeo en los nidos de abejero altera el comportamiento de los adultos. Sin embargo, en la mayoría de los casos (86.2%), los adultos se habitúan rápidamente a la presencia de las cámaras, en el mismo día o al día siguiente de su instalación. Ese porcentaje asciende al 93.3% si se instala una sola cámara. Los mayores problemas aparecieron cuando instalamos dos cámaras simultáneamente, lo que pudo influir en la tasa de deserción de la hembra adulta. La deserción de las hembras de las rapaces es un fenómeno poco estudiado (Sonerud et al. 2014). Es más común en las rapaces cuyos pollos consumen presas que no requieren la manipulación previa del alimento por parte de la hembra (Eldegard et al. 2003). En ese caso, una vez que los pollos pueden termorregular y dormir solos, la hembra puede desertar, y el final de la crianza de los pollos recae únicamente en el macho. Este podría ser el caso del abejero. Los pollos se alimentan principalmente de larvas y pupas que no requieren manipulación previa por parte de la hembra porque los pollos las consumen directamente de los panales que los adultos dejan en el nido. Los vertebrados, que representan algo menos del 20% de la dieta de los pollos de abejero, son de pequeño tamaño y edad juvenil y pueden ser fácilmente manipulados por los pollos e incluso tragados directamente sin despedazar (Rebollo et al. 2023; Martín-Ávila et al. 2024). En estas circunstancias, una vez que los pollos son capaces de termorregular, la instalación de cámaras puede favorecer un adelanto de la deserción de la hembra adulta. Las hembras adultas de abejero inician la migración postnupcial antes que los machos (Cento et al. 2021), lo cual puede tener que ver con que las hembras de manera natural abandonan el cuidado de su descendencia antes que los machos adultos. Nuestros resultados indican que las cámaras de fototrampeo son muy valiosas para estudiar la dieta de las rapaces, pero cuando se instalan en la proximidad de los nidos pueden alterar el comportamiento de las aves adultas y perjudicar a las crías. En García-Salgado et al. (2015) analizamos este tipo de problemas en las rapaces y sugerimos soluciones para minimizar los impactos, entre otras, utilizar cámaras de pequeño tamaño, poco conspicuas, instalar las cámaras cuando los pollos ya tienen capacidad de termorregular por ellos mismos, y dar alimento suplementario a los pollos en el momento de la instalación para protegerlos del posible retraso en la entrada de los adultos. Los resultados del presente artículo indican que hay que maximizar las precauciones cuando se instala más de una cámara en el nido.

## Problemas técnicos detectados en las cámaras de fototrampeo

### Interacción córvido-bellota

Los problemas técnicos detectados pudieron solucionarse en un periodo muy corto, dada la accesibilidad de las cámaras, situadas en el suelo o a poca altura en las encinas (Fig. 1), y la elevada frecuencia de las revisiones: cada siete días en los estudios con arrendajos y cada 1-3 días en los estudios con urracas. El agotamiento de las baterías, el llenado de la tarjeta de memoria o los fallos de encuadre no fueron problemas relevantes. Sin embargo, fue crítica la orientación de la cámara. La mejor orientación fue hacia el norte, evitando el deslumbre del sol a primeras y últimas horas del día. Otros problemas de visión, como la niebla o el objetivo empañado por rocío a primeras horas de la mañana o últimas de la tarde, no se pudieron solucionar, ocasionando una pequeña pérdida de información (problemas en la identificación de especies, individuos o en el recuento de bellotas removidas en los vídeos). La rapidez con que algunas urracas remueven las bellotas del comedero, por su neofobia, exige disponer de cámaras con corto tiempo de respuesta desde que se detecta el movimiento hasta que se inicia la grabación del vídeo. La rapidez de las aves retirando las bellotas hizo que en muchos casos la información que necesitábamos estuviese sólo en los primeros fotogramas del vídeo, exigiendo vídeos con alta calidad para detectar la remoción de las bellotas (1920 × 1080 píxeles y baja compresión de almacenamiento o calidad "Ultra"). En relación con estos problemas, el modelo Browning Dark Ops HD Elite funcionó razonablemente bien. Una característica interesante de este modelo es que, teóricamente, mientras detecta movimiento no interrumpe la grabación del vídeo (p. ej. durante el tiempo que el animal está en pantalla eligiendo la bellota, hasta un máximo de dos minutos). De esta manera, se evita que se pierda información si el animal agota el minuto establecido previamente. Sin embargo, esta función no fue efectiva para la urraca en la mayor parte de los casos, ya que es un animal pequeño y cubre un porcentaje bajo de píxeles que no son suficientes para mantener activo el sensor de movimiento y la cámara grabando. En el lado opuesto, todos los modelos de cámaras produjeron un gran número de falsos positivos los días de viento, grabándose vídeos sin presencia de córvidos debido al movimiento de los árboles al fondo del encuadre. Esto puede llenar la memoria de almacenamiento si las revisiones no son frecuentes, aumentando el tiempo dedicado a la observación de los vídeos. Los nuevos programas que emplean Inteligencia Artificial para filtrar imágenes podrían ayudar a reducir el tiempo de revisión de los vídeos (Rodas-Trejo 2024).

### Interacción abejero-velutina

El objetivo era que las cámaras estuvieran activas de forma continua desde su instalación hasta la salida de los volantones del nido, lo que evitaba escalar de nuevo a los nidos. Con las Browning Spec Ops (33 cámaras) conseguimos este objetivo en el 78.8% de los casos. Los problemas de funcionamiento de las cámaras se concentraron en los dos primeros años (2018 y 2019, 10 cámaras), cuando sólo el 40% de las cámaras permanecieron activas hasta la salida de los volantones, funcionando una

media de 20.3 días cada cámara. En el periodo posterior (2020-2022, 23 cámaras), el 95.6% de las cámaras funcionaron correctamente hasta la salida de los volantones, estando operativas una media de 38.7 días. Los principales fallos técnicos que interrumpieron el funcionamiento fueron el suministro energético (cuatro casos, tres de ellos por agotamiento de la batería externa y uno por entrada de agua en la batería externa), llenado de la tarjeta de memoria (un caso), fallo en el soporte que fijaba la cámara a la rama (un caso) y fallo interno desconocido de la cámara (dos casos). Además, en cinco casos detectamos lapsus en el funcionamiento de la cámara (periodos más o menos largos donde la cámara no hacía fotos a pesar de la entrada de adultos al nido), lo que mermó su rendimiento, pero no interrumpió el funcionamiento de la cámara. Estos lapsus estaban relacionados principalmente con problemas en el suministro de energía y solían preceder a un parón definitivo de la cámara por falta de ésta.

Las Spromise S378 4G (17 cámaras) funcionaron correctamente hasta la salida de los volantones del nido en el 88.2% de los casos, estando operativas una media de 37.1 días. Dos tipos de fallos interrumpieron su funcionamiento: el suministro energético (dos casos) y la conexión de la tarjeta SIM (dos casos). Sólo en un caso detectamos lapsus en el funcionamiento de estas cámaras, lo que mermó su rendimiento, pero no interrumpió su funcionamiento.

Además de los fallos técnicos descritos, cometimos errores en la instalación de las cámaras Browning Spec Ops principalmente durante los dos primeros años (2018 y 2019). El principal error fue la instalación de la cámara demasiado cerca del nido, lo que provocó problemas de enfoque de las fotos en cinco ocasiones. Además, esta cercanía provocó que el sensor de movimiento se activara continuamente y la cámara hiciera fotos con demasiada frecuencia, provocando fallos en el suministro energético y el llenado rápido de la tarjeta de memoria, limitando el tiempo de funcionamiento. Otros dos errores fueron el encuadre parcial del nido (siete casos) o la presencia de obstáculos entre la cámara y el nido (tres casos), lo que redujo el campo de visión de la cámara y la calidad de las fotos. Estos dos errores en ocasiones fueron inevitables debido a la falta de lugares más adecuados para instalar la cámara en las ramas situadas en las proximidades del nido (Fig. 4).

En resumen, podemos afirmar que la buena calidad actual de las cámaras de fototrampeo, la reducción del tamaño haciéndolas menos conspicuas y la reacción rápida ante los problemas (especialmente en el suministro de energía) permiten rendimientos muy elevados en comparación con los rendimientos de hace sólo una década (ver revisión en [García-Salgado et al. 2015](#)). Las cámaras actuales tienen bajos consumos de energía y admiten tarjetas de memoria de alta capacidad, lo que reduce los dos principales problemas que tenían los modelos más antiguos. Los problemas se minimizan todavía más con las cámaras que envían las fotos directamente al ordenador, como las Spromise S378 4G, permitiendo que los investigadores reaccionen rápidamente ante los problemas.

## Síntesis y conclusiones

Nuestros resultados muestran que las técnicas de fototrampeo son muy útiles para el estudio de los servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna. Facilitan la identificación de la avifauna que lleva a cabo el control de plagas y dispersión de semillas, así como la caracterización y cuantificación de estos servicios ecosistémicos, a escala de población e incluso de individuo. Los distintos modelos de cámaras permiten obtener buenos resultados en condiciones ambientales contrastadas, es decir, flexibilidad y adaptación a las circunstancias. Los investigadores deben identificar las técnicas de fototrampeo que mejor se ajustan a los objetivos de su investigación, a las especies diana y a las circunstancias de trabajo, especialmente en aquellos casos en los que el acceso de los investigadores a los sistemas de fototrampeo es difícil, complicando la detección y resolución de los problemas.

El fototrampeo puede ser fácilmente combinado con otras técnicas generando sinergias que permiten mejorar los resultados y profundizar en la caracterización y cuantificación de los servicios que realizan las aves. Las posibilidades son enormes y en este trabajo mostramos ejemplos exitosos de combinación del fototrampeo con técnicas de marcaje de individuos y tecnologías de seguimiento con emisores para el estudio de la dispersión de semillas grandes y la regulación de plagas realizados por la avifauna. Esto ha permitido, por ejemplo, obtener los primeros vídeos sobre la dispersión de bellotas por urraca ([Vídeos S3 a S14](#)) o el ataque y consumo de velutina por parte del abejero europeo ([Vídeos S15 a S17](#)). Actualmente estamos extendiendo el estudio a otras especies de córvidos y de bellotas. Sería interesante aplicar estas tecnologías con otros animales que almacenan semillas y otras plantas en otros ecosistemas.

Debido a la naturaleza compleja de los procesos ecológicos estudiados y de la tecnología empleada, el plan de trabajo debe ser flexible (gestión adaptativa) para reaccionar frente a los imprevistos y solucionar los problemas que surjan. Las técnicas de fototrampeo que envían las fotos o vídeos directamente al ordenador permiten detectar en tiempo real los problemas e identificar más rápidamente las soluciones. Hay que estar especialmente atento a las interferencias de los equipos de fototrampeo en el comportamiento de la especie diana. Aunque las cámaras y sus accesorios son cada vez más pequeños y menos conspicuos, el fototrampeo es una técnica invasiva que puede modificar el comportamiento de las aves, influir en los resultados y provocar efectos negativos sobre las especies estudiadas, especialmente cuando se instalan en las proximidades de los nidos. El plan de trabajo debe identificar rápidamente estos impactos e iniciar la búsqueda de soluciones.

## Contribución de los autores

Salvador Rebollo: Conceptualización, Adquisición de financiación, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Supervisión, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. Lorenzo Pérez-Camacho: Conceptualización, Análisis de datos, Investigación, Metodología, Supervisión, Visualización, Redacción – borrador original, Redacción – revisión y edición. Loreto Martínez-Baroja: Conservación de datos, Análisis de datos, Investigación, Metodología, Visualización, Redacción –

revisión y edición. Jorge A. Martín-Ávila: Conservación de datos, Análisis de datos, Investigación, Metodología, Visualización, Redacción – revisión y edición. Luisa M. Díaz-Aranda: Investigación, Metodología, Visualización, Redacción – revisión y edición. Olivia Lorente-Casalini: Conservación de datos, Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. Noelia Morato: Investigación, Redacción – revisión y edición. José M. Fernández-Pereira: Conservación de datos, Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. Jesús A. Cuevas: Investigación, Metodología, Redacción – revisión y edición. José M. Rey-Benayas: Adquisición de financiación, Administración del proyecto, Redacción – revisión y edición. Pedro Villar-Salvador: Conceptualización, Adquisición de financiación, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Redacción – revisión y edición.

## Disponibilidad de los datos

Todos los vídeos y sus leyendas están disponibles en: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28344395> (Rebollo et al. 2025).

## Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Agradecemos a Tomás González, Daniel Gómez, Pablo Quiles, Alberto Pesqueira, Carlos Sobreira, José María Bello, Luis Ogando, Javier Orosa, María Hernández, Marina López y Miguel A. Letón por sus contribuciones al trabajo de campo y por proporcionar información; y al Ministerio de Defensa y al Real Jardín Botánico Juan Carlos I por facilitar el acceso a las áreas de estudio. Agradecemos a la Dirección Xeral de Conservación da Natureza de la Xunta de Galicia y a la Comunidad Autónoma de Madrid por otorgarnos los permisos para llevar a cabo el estudio. Este trabajo fue financiado por proyectos del CICYT del Ministerio de Educación y Ciencia de España (CGL2007–60533/ BOS, CGL2010–18312/BOS), el Ministerio de Economía y Competitividad de España (CGL2014–53308–P) y el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (PID2019–106806GB-I00, PID2022–141762OB-I00), con fondos de la red REMEDINAL (S–0505/AMB/0335, S2009 AMB–1783, S2013/MAE–2719, TE-CM S2018/EMT–4338) y un proyecto de la Universidad de Alcalá (CCG2014/BIO–002). LMB fue financiada con una Ayuda Postdoctoral Margarita Salas (Universidad de Alcalá), Ministerio de Universidades de España y fondos NextGenerationEU. JAM-A fue apoyado por una beca FPI (PRE2020–093652) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España.

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- Arca, M., Mougél, F., Guillemaud, T., Dupas, S., Rome, Q., Perrard, A., Muller, F., et al. 2015. Reconstructing the invasion and the demographic history of the yellow-legged hornet, *Vespa velutina*, in Europe. *Biological Invasions* 17: 2357–2371. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-0880-9>
- Boeing, A.L., Nichols, E., Metzger, J.P. 2017. Effects of landscape structure on avian-mediated insect pest control services: a review. *Landscape Ecology* 32: 931–944. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0503-1>
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G. 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution* 28: 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Budge, G.E., Hodgetts, J., Jones, E.P., Ostojá-Starzewski, J.C., Hall, J., Tomkies, V., Semmence, N., et al. 2017. The invasion, provenance and diversity of *Vespa velutina* Lepeletier (Hymenoptera: Vespidae) in Great Britain. *PLOS ONE* 12: e0185172. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185172>
- Castro, J., Molina-Morales, M., Leverkus, A.B., Martínez-Baroja, L., Pérez-Camacho, L., Villar-Salvador, P., Rebollo, S., Rey-Benayas, J.M. 2017. Effective nut dispersal by magpies (*Pica pica* L.) in a Mediterranean agroecosystem. *Oecologia* 184: 183–192. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3848-x>
- Cento, M., Malpassuti, V., Dell’Omo, G., Agostini, N. 2021. Differential timing of autumn migration between sex groups in adult European honey buzzards *Pernis apivorus*. *Avian Biology Research* 14: 55–58. <https://doi.org/10.1177/1758155921997364>
- Cramp, S., Simmons, K.E.L. eds. 1980. *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa: the birds of the Western Palearctic. Volume II. Hawks to Bustards*. Oxford University Press, Oxford, UK; New York, USA.
- Eldegard, K., Selås, V., Sonerud, G.A., Steel, C., Rafoss, T. 2003. The effect of parent sex on prey deliveries to fledgling Eurasian Sparrowhawks *Accipiter nisus*. *Ibis* 145: 667–672. <https://doi.org/10.1046/j.1474-919X.2003.00229.x>
- Farwig, N., Berens, D.G. 2012. Imagine a world without seed dispersers: A review of threats, consequences and future directions. *Basic and Applied Ecology* 13: 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2012.02.006>
- Gamauf, A., Haring, E. 2004. Molecular phylogeny and biogeography of Honey-buzzards (genera *Pernis* and *Henicopernis*). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 42: 145–153. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2004.00250.x>
- García, D., Zamora, R., Amico, G.C. 2010. Birds as suppliers of seed dispersal in temperate ecosystems: conservation guidelines from real-world landscapes. *Conservation Biology* 24: 1070–1079. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01440.x>
- García, D., Miñarro, M., Martínez-Sastre, R. 2021. Enhancing ecosystem services in apple orchards: Nest boxes increase pest control by insectivorous birds. *Journal of Applied Ecology* 58: 465–475. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13823>
- García, D., Rumeu, B., Illera, J.C., Miñarro, M., Palomar, G., González-Varo, J.P. 2024. Common birds combine pest control and seed dispersal in apple orchards through a hybrid interaction network. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 365: 108927. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108927>
- García-Salgado, G., Rebollo, S., Pérez-Camacho, L., Martínez-Hestekamp, S., Navarro, A., Fernández-Pereira, J.M. 2015. Evaluation of trail-camera for analyzing the diet of nesting raptors using the Northern Goshawk as a model. *PLOS ONE* 10: e0127585. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127585>
- Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J.J., Sancho-Knapik, D. eds. 2017. *Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus Quercus L.* Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Gómez, J.M., Schupp, E.W., Jordano, P. 2019. Synzoochory: the ecological and evolutionary relevance of a dual interaction. *Biological Reviews* 94: 874–902. <https://doi.org/10.1111/brv.12481>

- González-Varo, J.P., Albrecht, J., Arroyo, J.M., Bueno, R.S., Burgos, T., Escribano-Ávila, G., Farwig, N., et al. 2023. Frugivore-mediated seed dispersal in fragmented landscapes: Compositional and functional turnover from forest to matrix. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120: e2302440120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2302440120>
- Hagemeyer, W.J.M., Blair, M.J. eds. 1997. *The EBCC atlas of European breeding birds. Hauptw. Their distribution and abundance*. 1. publ. Poyser, London, UK.
- Hougnier, C., Colding, J., Söderqvist, T. 2006. Economic valuation of a seed dispersal service in the Stockholm National Urban Park, Sweden. *Ecological Economics* 59: 364-374. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.007>
- Landis, D.A. 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology* 18: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.005>
- Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S.R., Folke, C., Alberti, M., Redman, C.L., Schneider, S.H., et al. 2007. Coupled human and natural systems. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 36: 639-649. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01488-5>
- Lundberg, J., Moberg, F. 2003. Mobile link organisms and ecosystem functioning: implications for ecosystem resilience and management. *Ecosystems* 6: 87-98. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0150-4>
- Martín-Ávila, J.A., Rebollo, S., Fernández-Pereira, J.M., Díaz-Aranda, L.M. 2024. The trophic strategy of the European honey-buzzard *Pernis apivorus* during breeding: extravagant specialization or ingenious solution? *Journal of Avian Biology* 03221. <https://doi.org/10.1111/jav.03221>
- Martín-Ávila, J.A., Díaz-Aranda, L.M., Fernández-Pereira, J.M., Rebollo, S. 2025. The European honey buzzard (*Pernis apivorus*) as an ally for the control of the invasive yellow-legged hornet (*Vespa velutina nigrithorax*). *Pest Management Science*. <https://doi.org/10.1002/ps.8622>
- Martínez-Baroja, L., Pérez-Camacho, L., Villar-Salvador, P., Rebollo, S., Quiles, P., Gomez-Sanchez, D., Molina-Morales, M., et al. 2019. Massive and effective acorn dispersal into agroforestry systems by an overlooked vector, the Eurasian magpie (*Pica pica*). *Ecosphere* 10: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2989>
- Martínez-Baroja, L., Pérez-Camacho, L., Villar-Salvador, P., Rebollo, S., Leverkus, A.B., Pesendorfer, M.B., Molina-Morales, M., et al. 2021. Caching territoriality and site preferences by a scatter-hoarder drive the spatial pattern of seed dispersal and affect seedling emergence. *Journal of Ecology* 109: 2342-2353. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13642>
- Millennium Ecosystem Assessment ed. 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, USA.
- Molina-Morales, M., Albaladejo, G., Castro, J. 2019. Cache marking under field conditions does not affect nut recovery rate by the Eurasian magpie *Pica pica*, a scatter-hoarder corvid. *Ardeola* 66: 77-87. <https://doi.org/10.13157/arla.66.1.2019.sc2>
- Molina-Morales, M., Castro, J., Albaladejo, G., Parejo, D. 2020. Precise cache detection by olfaction in a scatter-hoarder bird. *Animal Behaviour* 167: 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2020.07.002>
- Molina-Morales, M., Leverkus, A.B., Albaladejo-Robles, G., Martínez-Baroja, L., Pérez-Camacho, L., Villar-Salvador, P., Rebollo, S., et al. 2023. Linking animal behaviour and tree recruitment: caching decisions by a scatter hoarder corvid determine seed fate in a Mediterranean agroforestry system. *Journal of Ecology* 111: 400-411. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14004>
- Monteagudo, N., Benayas, J.M.R., Andivia, E., Rebollo, S. 2023. Avian regulation of crop and forest pests, a meta-analysis. *Pest Management Science* 79: 2380-2389. <https://doi.org/10.1002/ps.7421>
- Pérez-Camacho, L., Villar-Salvador, P., Cuevas, J.A., González-Sousa, T., Martínez-Baroja, L. 2023. Spatial decision-making in acorn dispersal by Eurasian jays around the forest edge: Insights into oak forest regeneration mechanisms. *Forest Ecology and Management* 545: 121291. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121291>
- Pesendorfer, M.B., Sillett, T.S., Koenig, W.D., Morrison, S.A. 2016. Scatter-hoarding corvids as seed dispersers for oaks and pines: a review of a widely distributed mutualism and its utility to habitat restoration. *Condor* 118: 215-237. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-125.1>
- Pons, J., Pausas, J.G. 2007. Acorn dispersal estimated by radio-tracking. *Oecologia* 153: 903-911. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0788-x>
- Rebollo, S., Rey-Benayas, J.M., Villar-Salvador, P., Pérez-Camacho, L., Castro, J., Molina-Morales, M., Leverkus, A.B., et al. 2019. Services provided by birds (high-mobile link species) in farmland and forest mosaics: forest regeneration and plague regulation. *Ecosistemas* 28: 32-41. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1736>
- Rebollo, S., Díaz-Aranda, L.M., Martín-Ávila, J.A., Hernández-García, M., López-Rodríguez, M., Monteagudo, N., Fernández-Pereira, J.M. 2023. Assessment of the consumption of the exotic Asian Hornet *Vespa velutina* by the European Honey Buzzard *Pernis apivorus* in southwestern Europe. *Bird Study* 70: 136-150. <https://doi.org/10.1080/00063657.2023.2244258>
- Rebollo, S., Pérez-Camacho, L., Martínez-Baroja, L., Martín-Ávila, J.A., Díaz-Aranda, L.M., Lorente-Casalini, O., Morato, N., et al. 2025. Vídeos: Synergies between camera-trapping and tracking technologies using transmitters for the study of ecosystem services provided by birds / Sinergias entre el fototrampéo y tecnologías de seguimiento con emisores para el estudio de servicios ecosistémicos suministrados por la avifauna. Figshare. <https://doi.org/10.6084/M9.figshare.28344395>
- Rodas-Trejo, J. 2024. Camelot: Una herramienta intuitiva para el manejo y procesamiento de imágenes de cámaras trampa utilizando inteligencia artificial. *Ecosistemas* 33: 2797. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2797>
- Rojas-Nossa, S.V., Calviño-Cancela, M. 2020. The invasive hornet *Vespa velutina* affects pollination of a wild plant through changes in abundance and behaviour of floral visitors. *Biological Invasions* 22: 2609-2618. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02275-9>
- Rome, Q., Muller, F.J., Touret-Alby, A., Darrouzet, E., Perrard, A., Villemant, C. 2015. Caste differentiation and seasonal changes in *Vespa velutina* (Hym.: Vespidae) colonies in its introduced range. *Journal of Applied Entomology* 139: 771-782. <https://doi.org/10.1111/jen.12210>
- Sonerud, G.A., Steen, R., Selås, V., Aanonsen, O.M., Aasen, G.-H., Fagerland, K.L., Fosså, A., et al. 2014. Evolution of parental roles in provisioning birds: diet determines role asymmetry in raptors. *Behavioral Ecology* 25: 762-772. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru053>
- UE1143/2014. Reglamento (UE) n° 1143/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014, sobre la prevención y la gestión de la introducción y propagación de especies exóticas invasoras. *Diario Oficial de la Unión Europea* OJ L 317, 4.11.2014, p. 35-55. <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/1143/oj>.
- Whelan, C.J., Wenny, D.G., Marquis, R.J. 2008. Ecosystem services provided by birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134: 25-60. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.003>