

**COLONIAS REPRODUCTORAS DE AVIÓN ZAPADOR *Riparia riparia*:
OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA GESTIÓN Y RESTAURACIÓN
DE ESPACIOS MINEROS**



Fotografía tomada por
Carlos Rodríguez Urquía

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

D. JUAN FRANCO GOYENA

Tutores directores:

Dr. SALVADOR REBOLLO DE LA TORRE Y D^a ZOË ROHRER RODRÍGUEZ

Tutor Académico:

Dr. SALVADOR REBOLLO DE LA TORRE

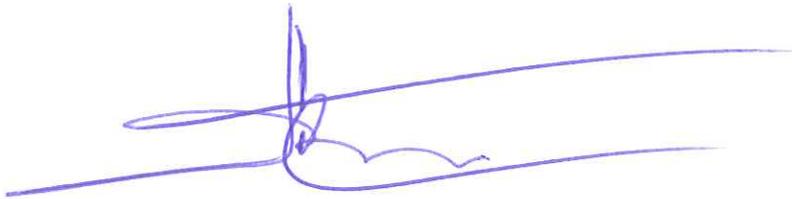
Alcalá de Henares, a 25 de octubre de 2017

D./D^a Salvador Rebollo De la Torre

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: "Colonias Reproductoras de Avión Zapador *Riparia riparia*: Oportunidades y Retos para la Restauración en Espacios mineros", ha sido realizado bajo mi tutorización académica por el alumno/a D./D^a Juan Franco Goyena.

En Alcalá de Henares, a 25 de octubre de 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Firmado:

D./D^a Zoë Rohrer Rodríguez

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado "Colonias Reproductoras de Avión Zapador *Riparia riparia*: Oportunidades y Retos para la Restauración en Espacios mineros" ha sido realizado bajo mi dirección por el alumno/a D./D^a Juan Franco Goyena.

En Alcalá de Henares, a 25 de octubre de 2017

Firmado:



ANEXO 4

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA INCLUSIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER EN
LOS ARCHIVO ABIERTOS INSTITUCIONALES DE LAS UNIVERSIDADES QUE IMPARTEN LA TITULACIÓN**

TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER:

COLONIAS REPRODUCTORAS DE AVIÓN ZAPADOR *Riparia riparia*: OPORTUNIDADES Y RETOS PARA LA GESTIÓN Y RESTAURACIÓN DE ESPACIOS MINEROS

1.- ESTUDIANTE (AUTOR)

APELLIDOS Y NOMBRE: Franco Goyena, Juan	DNI: 73419158F
TITULACIÓN: Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas	

2.- TUTOR DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

APELLIDOS Y NOMBRE: Rebollo de la Torre, Salvador	DNI: 35292863F
DEPARTAMENTO O INSTITUCIÓN: Ciencias de la Vida, UAH	

Los abajo firmantes:

- AUTORIZAN
 NO AUTORIZAN

El depósito y puesta a disposición del Trabajo Fin de Máster en los Repositorios Institucionales de las Universidades que imparten la titulación, de acceso libre y gratuito a través de Internet, y otorgando las condiciones de uso de la licencia Creative Commons **reconocimiento-uso no comercial-sin obra derivada**.

Más información en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es>

Firmado: El Autor 	Firmado: El Tutor del Trabajo Fin de Máster 
--	---

Índice

Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
1.1. Objetivos e hipótesis	6
2. Material y Métodos	7
2.1. Área de estudio	7
2.2. Muestreos de campo	7
2.2.1. Estimación de la población reproductora de avión zapador en 2017	8
2.2.2. Capturas de ejemplares de avión zapador	8
2.3. Importancia de los espacios mineros para el avión zapador	9
2.4. Preferencias de hábitat del avión zapador en los espacios mineros	9
2.4.1. Escala de colonia	9
2.4.2. Escala de subcolonia	11
2.4.3. Escala de madriguera	11
2.5. Biología reproductiva del zapador en los espacios mineros	12
2.6. Análisis estadísticos	13
3. Resultados	14
3.1. Importancia de los espacios mineros para el avión zapador	14
3.2. Preferencias de hábitat del avión zapador en los espacios mineros	16
3.2.1. Escala de colonia	16
3.2.2. Escala de subcolonia	19
3.2.3. Escala de madriguera	21
3.3. Biología reproductiva del avión zapador en los espacios mineros	24
3.3.1. Fenología	24
3.3.2. Medidas corporales	27
4. Discusión	28
4.1. Importancia de los espacios mineros para el avión zapador	28
4.2. Preferencias de hábitat del avión zapador en los espacios mineros	29
4.2.1. Escala de colonia	29
4.2.2. Escala de subcolonia	30
4.2.3. Escala de madriguera	31
4.3. Biología reproductiva del zapador en los espacios mineros	32
4.4. Gestión del avión zapador en los espacios mineros: Protocolo de gestión	34
4.4.1. Medidas de divulgación	34
4.4.2. Medidas preparatorias	35
4.4.3. Medidas protectoras	38
4.4.4. Gestión de otros espacios diferentes a los lugares de nidificación	39
4.4.5. Restauración	40
5. Conclusiones	41
6. Agradecimientos	42
7. Bibliografía	43
8. Anexos	51
Anexo 1 Terminología utilizada	51
Anexo 2. Valores de las variables ambientales de los espacios mineros	52
Anexo 3. Variables a escala de colonia usadas en el PCA	53
Anexo 4. Esquema de medidas a escala de subcolonia	54
Anexo 5. Histogramas de los valores de las variables físicas a escala de madriguera	55
Anexo 6. Histogramas de las distancias y alturas de madrigueras y puntos aleatorios ..	56
Anexo 7. Correlación de las variables a escala de colonia	57

Resumen

La extracción de áridos es una industria clave pero implica la afección del ecosistema donde se instala la explotación, haciendo necesario su restauración. Una de las líneas de investigación menos desarrolladas es la recreación de hábitats para especies rupícolas. En el presente TFM estudiamos el avión zapador *Riparia riparia* para profundizar en medidas de gestión y recreación de estos hábitats durante la vida útil de la explotación minera y la fase de restauración. El objetivo de este estudio es aumentar el conocimiento de la ecología y biología reproductiva del avión zapador en los espacios mineros de España y establecer medidas para favorecer sus poblaciones en dichos espacios.

Se estudiaron 29 espacios mineros pertenecientes al grupo LafargeHolcim en 2016 y se buscaron colonias naturales en la CAM en 2017. Se estudiaron las preferencias de hábitat a distintas escalas espaciales (colonia, subcolonia y madrigueras) y la biología reproductiva, y se identificaron los principales efectos de la actividad minera sobre las colonias.

El avión zapador mostró una elevada dependencia de los espacios mineros como hábitat de reproducción. Prefirió colonizar los espacios mineros menos antiguos, con mayor tiempo de inactividad, más cercanos a ríos o arroyos y dedicados a la extracción de arena. Dentro de los espacios mineros utilizó acopios, taludes de explotación y escombreras. Las madrigueras se situaron preferentemente en zonas de la pared con más pendiente ($>60^\circ$) y mayor altura total (4-6 m) y altura respecto al derrumbe (1-2 m). El periodo reproductor fue largo, desde principios de abril hasta finales de agosto.

Los resultados muestran que el avión zapador tiene una elevada dependencia de los espacios mineros como hábitat de reproducción. Su supervivencia y éxito reproductor dependen estrechamente de la gestión de estos espacios. En este estudio presentamos un protocolo de gestión para los espacios mineros de LafargeHolcim.

Abstract

The extraction of aggregates is a key industry but implies the affection of the ecosystem where the exploitation is installed, making its restoration necessary. One of the less developed lines of research is the reclamation of habitats for rupicolous species. In this TFM we studied the sand martin *Riparia riparia* to deepen management measures and reclamation of those habitats during the useful life of the mining area and the restoration phase. The goal of this study is to increase the knowledge of the ecology and reproductive biology of the sand martin in the mining spaces of Spain and to establish measures to favor its populations in these spaces.

A total of 29 mining spaces belonging to the LafargeHolcim group were studied in 2016 and natural colonies were searched in the CAM in 2017. Habitat preferences at different spatial scales (colony, subcolony and burrow) and reproductive biology were studied and the main effects of the mining activity on the colonies were identified.

The sand martin displayed a high dependence on mining spaces as habitat of reproduction. It preferred to colonize the mining spaces that were younger, with more time of inactivity, closer to rivers and streams, and dedicated to the extraction of sand. Within the mining spaces it used stockpiles, exploitation slopes and muck piles. The burrows were preferably in steeper areas of the wall ($>60^\circ$) and with greater total height (4-6 m) and height with respect to the talus slope (1-2 m). The reproductive period was long, from the beginning of April until the end of August.

The results show that sand martin has a high dependence on mining spaces as reproduction habitat. Its survival and reproductive success depends closely on the management of these spaces. In this study we present a management protocol for LafargeHolcim mining spaces.

1. Introducción

La minería de producción de áridos es una importante industria. Sólo en España produjo en 2015 productos de cantera por valor de 799 millones de euros (27% del valor total de los productos mineros españoles) y dio empleo a 12.075 personas en 2.092 explotaciones (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, s.f.). Los áridos de construcción son una serie de materiales minerales sólidos e inertes de diversas granulometrías (arenas, gravas...), obtenidos en canteras y graveras (ver terminología en el Anexo 1), y que tienen diversos usos: gravillas de las vías de ferrocarril; diversos rellenos; fabricación de hormigones, aglomerados asfálticos, cementos, pinturas, papel, etc. En consecuencia, su consumo está íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de los países y la calidad de vida de las personas (Herrera y Pla, 2006).

Sin embargo, la extracción de áridos implica la afección del ecosistema original de la zona de explotación y esto hace necesaria su restauración. La restauración ecológica se define como “el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido” (SERI Science & Policy Working Group, 2004). Dicha recuperación de un estado previo del ecosistema no siempre es abordable con los conocimientos actuales. Otras alternativas, como la recreación (reclamación) o conducción del ecosistema a un estado útil o adecuado distinto del original, pueden ser valiosas y permitir la “restauración” de algunos de los atributos del ecosistema, e incluso aumentar el valor ecológico de la zona (Bradshaw, 1996). Se han desarrollado muchas experiencias de recreación para obtener espacios agrícolas, forestales, de ocio y de conservación de la biodiversidad (McRae, 1986). En este sentido, las canteras y graveras, bien gestionadas, pueden albergar numerosas especies de fauna y flora, incluso estando activas (INULA, 2015).

Las iniciativas para fomentar la biodiversidad se basan principalmente en proyectos de recreación de humedales y de comunidades vegetales terrestres (SER, 2017). Los resultados, en términos de incremento de biodiversidad, han sido en algunos casos espectaculares, llegando incluso los espacios mineros a ser incorporados en redes de espacios protegidos. Un ejemplo son las graveras restauradas (de forma activa o pasiva) en los bordes del río Jarama y que han sido incorporadas al Parque Regional del Sureste de la Comunidad de Madrid (CAM).

Una de las líneas de investigación menos desarrolladas a nivel mundial es la recreación de hábitats para especies rupícolas, que colonizan diversos tipos de formaciones rocosas y arenosas más o menos verticales en el espacio minero (Castillo *et al.*, 2008; Moore, 1997). Algunas de estas especies están amenazadas y la recreación de estos hábitats rupícolas podría ser una iniciativa interesante de conservación. Los hábitats rupícolas se generan como consecuencia de la propia actividad minera (taludes, acopios, etc.; ver terminología en el Anexo 1) y el mantenimiento de algunos de ellos, además de fomentar la biodiversidad, podría reducir los costes y riesgos de la restauración porque reduce la necesidad de movimientos internos para extender taludes y evita el riesgo de las actividades de relleno y la necesidad de control del tipo de material utilizado.

El equipo de investigación al que me he incorporado para realizar este Trabajo de Fin de Máster (TFM) ha iniciado esta línea de investigación a través de un convenio entre la empresa multinacional extractiva LafargeHolcim, la Fundación Internacional para la Restauración de los Ecosistemas (FIRE) y la Universidad de Alcalá (Unidad de Ecología del Departamento de Ciencias de la Vida). En el marco de este convenio se han llevado a cabo otros TFMs para estudiar la comunidad de aves rupícolas (Rohrer-Rodríguez, 2015) o para estudiar alguno de los depredadores rupícolas que colonizan los espacios mineros, como el búho real (Monteagudo, 2017). En el presente TFM queremos estudiar otra especie de ave que, por su vinculación estrecha con los hábitats rupícolas mineros, puede servir de modelo para profundizar en medidas de gestión y recreación de estos hábitats tanto durante la vida útil de la explotación minera como en la fase de restauración.

El avión zapador *Riparia riparia* (Linnaeus, 1758) es un pequeño hirundínido que hace sus nidos al final de madrigueras que excava en superficies verticales preferentemente arenosas (Sáez-Royuela, 1954). La especie está considerada como “De interés especial” en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres de la Comunidad de Madrid (Decreto 18/1992, de 26 de marzo), como “Vulnerable” en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha (Decreto 33/1998, de 5 de mayo) y en el Catálogo Valenciano de Especies de Fauna Amenazadas (Decreto 32/2004, de 27 de febrero) y como “Casi Amenazada (NT)” en Cataluña (Llobet y Estrada, 2004). En la Unión Europea pertenece a la categoría SPEC3 (BirdLife International, 2004). Actualmente sus poblaciones experimentan una tendencia negativa a largo plazo en varios países europeos, incluida España (BirdLife International, 2015).

Tal como su nombre científico indica, sus hábitats naturales de nidificación son los ríos, además de los arroyos, lagos y acantilados costeros con bancos recientemente erosionados; pero también a menudo nidifica en espacios mineros (Tucker y Heath, 1994 y Turner, 2004, citados en BirdLife International, 2016). Actualmente, alteraciones ejercidas por el hombre sobre las riberas de los ríos y su régimen de caudales han disminuido la abundancia y renovación primaveral de los hábitats rupícolas de nidificación natural del avión zapador (Garrison, 1988; Maas y Paul, 2013; Ruiz de Azua *et al.*, 2006) y la especie está incrementado el uso de los espacios mineros (Etxezarreta, 2010). Esto, unido a la abundancia de canteras y graveras, sugiere que los espacios mineros pueden tener una elevada importancia para la reproducción del avión zapador.

El avión zapador selecciona los lugares de nidificación en los espacios mineros. La selección del hábitat es un proceso en el que el animal decide qué hábitats utiliza a distintas escalas espaciales, buscando en último término la supervivencia y el éxito reproductor. Esto tiene como consecuencia la preferencia, o uso desproporcionado, de algunos hábitats frente a otros (Krausman, 1999). Existen estudios sobre la selección y preferencias de hábitat de nidificación del avión zapador en espacios mineros en la República Checa (Heneberg, 2007) y Canadá (Hjertaas, 1984), e incluso en España (González y Villarino, 1997). Los estudios destacan la importancia de diversos factores como el sustrato mineral del talud (que debe ser fácilmente excavable), la pendiente de la pared (prefieren las paredes más verticales), la ausencia de vegetación en la pared y la proximidad a medios acuáticos. La importancia de otros aspectos como la altura y longitud de la pared y orientación tienen menos consenso (OMNRF, 2017). De cara a gestionar esta especie en los espacios mineros es necesario conocer las preferencias de hábitat a distintas escalas espaciales en el ámbito geográfico de actuación y, en este sentido, no hay este tipo de estudios en la España mediterránea (pero ver García y Fuertes, 2010).

Para gestionar la especie en los espacios mineros necesitamos conocer también su biología reproductiva, especialmente la fenología de la reproducción. El avión zapador es una especie migratoria de larga distancia que pasa el invierno principalmente en el África subsahariana (Malo de Molina y Martínez, 2003). Las fechas de retorno y abandono de las áreas de nidificación son variables, dependiendo principalmente del área geográfica (latitud) y de las condiciones meteorológicas de cada año (Etxezarreta,

2010; OMNRF, 2017). Necesitamos conocer el periodo de estancia estival de los zapadores y el momento en el que realiza las distintas fases de la reproducción (fecha de inicio de construcción de madrigueras, fecha de puestas, etc.) para desarrollar aspectos básicos del protocolo de gestión.

Finalmente, necesitamos conocer las circunstancias en las que la actividad minera interfiere con la actividad reproductora de los zapadores. Por ejemplo, si las interferencias se producen más en los frentes de explotación o en los lugares de almacenamiento del material mineral, y las fases del periodo reproductor más afectadas. Una vez conocidas las preferencias y biología reproductiva del avión zapador podrán elaborarse protocolos de promoción y gestión de esta especie en los espacios mineros. Algunos protocolos ya se han realizado en Suiza (Bachmann *et al.*, 2008) y Canadá (OMNRF, 2017); sin embargo, es necesario elaborar uno que esté adaptado a la gestión de canteras y graveras españolas y tenga en cuenta las peculiaridades locales de la especie.

1.1. Objetivos e hipótesis

El objetivo general de este TFM es aumentar el conocimiento de la ecología y biología reproductiva del avión zapador en los espacios mineros de España y establecer medidas para favorecer sus poblaciones en dichos espacios. Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Analizar la importancia de los espacios mineros como hábitat de reproducción.
2. Conocer las preferencias de hábitat de reproducción en los espacios mineros.
3. Estudiar la biología reproductiva en los espacios mineros e identificar los principales efectos de la actividad minera sobre las colonias.
4. Establecer un protocolo de gestión del avión zapador en los espacios mineros para compatibilizar las poblaciones reproductoras con la actividad minera.

Nuestra hipótesis es que los espacios mineros son esenciales para el avión zapador durante su periodo reproductor. Asimismo, el efecto de atracción que ejercen podría situar las colonias en una posición alejada de sus hábitats más naturales (las riberas de los ríos). Este efecto, junto con la propia actividad minera, puede condicionar el éxito reproductor y la viabilidad de las poblaciones reproductoras. Todo ello hace necesario elaborar protocolos de gestión específicos que tengan en cuenta las preferencias de hábitat de la especie y la fenología de la reproducción. En el apartado 2.3. de Material y

Métodos también desarrollamos hipótesis más concretas respecto a las preferencias de hábitat de la especie.

2. Material y Métodos

2.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en 29 espacios mineros (canteras y graveras) del grupo LafargeHolcim en España. Los espacios mineros estaban situados en la CAM, Castilla-La Mancha (provincias de Ciudad Real, Guadalajara y Toledo); Comunidad Valenciana (provincias de Alicante, Castellón y Valencia); y Cataluña (provincia de Barcelona) (Figura 1).

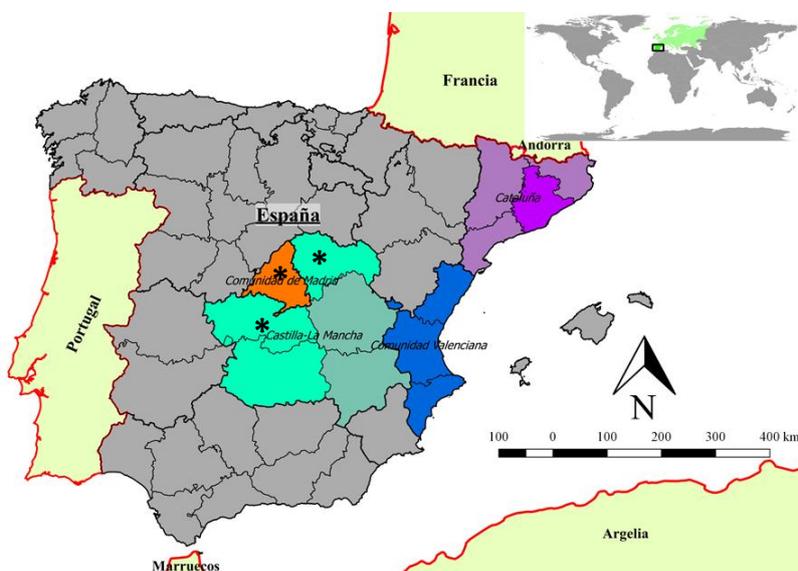


Figura 1. Comunidades Autónomas y provincias donde se encuentran los 29 espacios mineros estudiados. Dentro de cada Comunidad Autónoma, las provincias con espacios mineros estudiados se destacan en color más intenso. * Provincias que contienen los espacios mineros estudiados en 2017.

Los espacios mineros, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada para la Península Ibérica, se encuentran en zonas de clima mediterráneo templado (tipo C) o de clima mediterráneo seco (tipo B) (AEMET e IM, 2011). El rango de temperaturas y precipitaciones medias anuales es de 10,2 a 18,1 °C y de 318 a 675 mm, respectivamente. La altitud varía entre 150 y 1.100 m s. n. m (Climate-data.org, s.f.). La litología de la zona, material extraído, vegetación y usos del suelo del espacio minero y su entorno se detallan en el Anexo 2.

2.2. Muestreos de campo

En 2016 se estimó la población reproductora de todas las aves rupícolas de 28 espacios mineros, incluido el avión zapador (Monteagudo, 2017). Dicha estimación consistió en un conteo visual de los aviones zapadores adultos durante los meses de mayo a julio a

través de itinerarios recorridos a pie cubriendo todo el espacio minero (ver detalles del muestreo en Monteagudo, 2017). Se detectó presencia de colonias de avión zapador en 9 espacios mineros y presencia de aviones zapadores reproductores en 8 de ellos. En 2017 se estudiaron en detalle esos nueve espacios mineros, así como un espacio minero adicional (MAT) en la provincia de Guadalajara con una colonia habitada en 2017 y que no había sido muestreada en 2016.

2.2.1. Estimación de la población reproductora de avión zapador en 2017

Los espacios mineros ocupados se visitaron entre una y tres veces durante la temporada reproductora (especialmente en la fase con presencia de crías) para estimar la tasa de ocupación de las madrigueras y la fenología de la reproducción. Las visitas estuvieron espaciadas de una a tres semanas y se realizaron del 3 de junio al 8 de julio. Las colonias no ocupadas también se revisitaron varias veces para confirmar la ausencia de aviones zapadores reproductores.

Las colonias fueron fotografiadas y las madrigueras numeradas. Se anotaron la entrada y salida de aviones zapadores de cada madriguera, el tiempo transcurrido entre entradas y salidas, la hora y minuto de la observación y otra información importante como la presencia de pollos asomados o la actividad excavadora. Los seguimientos de actividad de la colonia duraron entre media hora y dos horas dependiendo del tamaño de la colonia y de la cantidad y actividad de las aves. Los seguimientos se realizaron a una distancia que no interfiriera con el comportamiento normal de las aves (distancias de 35 a 80 m).

Se distinguió entre madrigueras con ocupación segura y probable en función del número de entradas y salidas observadas o la presencia de pollos, siguiendo el método de González y Villarino (1997). Ambas clases de ocupación, segura y probable, fueron consideradas como madrigueras ocupadas para los análisis posteriores.

2.2.2. Capturas de ejemplares de avión zapador

Entre el 21 de junio y el 14 de julio de 2017 se realizaron capturas de aviones zapadores en 4 de las colonias estudiadas. El método de captura, tras fracasar la colocación de redes japonesas con un reclamo sonoro de hirundínidos frente a las paredes ocupadas, consistió en la colocación de aros autoportantes circulares con red japonesa sobre las madrigueras. Algunas de esas madrigueras se sabía que estaban ocupadas mientras que otras se escogieron al azar. Se retiraron las redes tras media hora para coger las aves

capturadas. En algunas ocasiones los aros se situaron sobre las madrigueras antes del amanecer para capturar los individuos que habían pasado la noche en las madrigueras.

Las aves se pesaron, se midieron las alas, quillas y tarsos, se buscó la presencia de parásitos externos (Szép y Møller, 2000), y se anillaron con anillas oficiales del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). Los adultos se sexaron a partir de la placa incubatriz. Inmediatamente después de la medición y anillado se liberaba el ejemplar.

2.3. Importancia de los espacios mineros para el avión zapador

En el territorio de la CAM se procedió a la localización de colonias de avión zapador instaladas en taludes “naturales”. En primer lugar, procedimos a localizar ubicaciones de colonias naturales en la bibliografía, principalmente de censos específicos de avión zapador (SCV, 1999; SCV, 2007). También encuestamos a distintos responsables de espacios naturales protegidos y ornitólogos profesionales y aficionados. Finalmente, al no tener indicio de ninguna colonia “natural” importante, estudiamos exclusivamente las colonias de los espacios mineros.

2.4. Preferencias de hábitat del avión zapador en los espacios mineros

Las preferencias de hábitats de reproducción del avión zapador se estudiaron a varias escalas espaciales. Se definió como “colonia” al conjunto de madrigueras de avión zapador existentes en un mismo espacio minero. Cada grupo de madrigueras separadas dentro de una misma colonia se denominaron “subcolonias”. La subcolonia reunía al conjunto de madrigueras situadas en una misma estructura (acopio, escombrera o talud); separados de otra subcolonia o estructura por una discontinuidad importante, cambios bruscos de orientación tras los cuales no había más madrigueras o distintos bancos si estaban separados por pistas sobre las que se pudiera caminar.

2.4.1. Escala de colonia

Se estudiaron una serie de variables del conjunto de los espacios mineros y de su entorno (Anexo 3), de las que destacan las siguientes:

- Superficie de herbazales, cuerpos de agua y humedales a 1 km de radio del borde del espacio minero y su distancia al borde. Se consideró 1 km porque es la distancia máxima a la que suelen desplazarse los zapadores para alimentarse (Cramp, 1988). Estos ambientes son lugares potenciales de alimentación y dormideros del avión zapador (Falconer *et al.*, 2016; Kirk, 2011; Moffat *et al.*, 2005) y, en consecuencia,

pueden influir en la elección del lugar de reproducción y en su éxito reproductivo. Los usos del suelo se obtuvieron de la capa de Corine Land Cover 2012 (IGNb, s.f.).

- Distancia a ríos y arroyos. Estos hábitats riparios constituyen zonas de alimentación del avión y su principal lugar de nidificación natural (Sáez-Royuela, 1954). Las distancias se midieron con el programa QGIS (QGIS Development Team, 2016).
- Litología y tipo de material extraído en el espacio minero. Condiciona la disponibilidad de sustrato arenoso para la construcción de las madrigueras. Según González y Villarino (1997), el avión zapador prefiere litologías sedimentarias frente a graníticas y éstas frente a metamórfica, por lo que se establecieron categorías semicuantitativas. Dentro de los materiales aluviales se puntuó más las arenas que las areniscas/calcarenitas pues éstas están más consolidadas. La litología se obtuvo del Mapa de Litologías de España escala 1:1.000.000 del IGME (s.f.).
- Tipo de espacio minero y superficie total de taludes. Condiciona la disponibilidad de taludes y acopios donde puede nidificar el avión zapador. Las graveras, por el tipo de material explotado (arenas), proporcionan más superficie de taludes fácilmente excavables. Dentro de las canteras, las destinadas a la venta de áridos generan acopios de material que se almacenan al aire libre y pueden ser colonizados por el zapador. En cambio, las canteras destinadas a la producción de cemento no, debido al diferente tratamiento industrial y material final producido.
- Superficie del espacio minero estudiado y superficie de espacios mineros en 1 km desde el borde de la explotación. Condiciona la cantidad de hábitat de nidificación para el avión zapador y la posible atracción que podría ejercer el área sobre él para anidar.
- Actividad minera en 2016, antigüedad del espacio minero, y tiempo de inactividad del espacio minero hasta 2016. Condicionan tanto la disponibilidad de superficies recién creadas, más fáciles de excavar para el avión zapador, como el grado de perturbación humana a la que están sometidos los zapadores por la actividad minera.
- La abundancia regional de aviones zapadores. Podría condicionar la cantidad de aviones zapadores que pueden colonizar el espacio minero. Se obtuvo del mapa de Malo de Molina y Martínez (2003). La abundancia se obtuvo sumando el valor medio de parejas estimadas en la cuadrícula UTM de 10 X 10 km donde se

encontraba el espacio minero y en las ocho cuadrículas de alrededor. En las cuadrículas “sin cuantificar” se consideró que había una pareja.

2.4.2. Escala de subcolonia

Se analizó la relación del número de parejas reproductoras de avión zapador en 2017 y la tasa de ocupación de madrigueras en las subcolonias (madrigueras ocupadas/totales) con las siguientes variables:

- Tipo de estructura de la subcolonia (acopio, escombrera o talud). La preferencia por alguna de ellas tendría muchas repercusiones en la gestión de los zapadores en los espacios mineros.
- Orientación general de la subcolonia (N, S, E u O). Aunque sobre esta variable no hay mucho consenso en la bibliografía (OMNRF 2017), algunos autores sugieren que los zapadores prefieren orientaciones concretas en determinadas localidades (González y Villarino, 1997).
- Edad de la estructura. Hay consenso en asegurar que los aviones zapadores prefieren estructuras mineras recientes (con el material mineral todavía fresco) porque son más fácilmente excavables (Bachmann *et al.* 2008). La edad se calculó a partir de las ortofotografías disponibles del PNOA (IGNb, s.f.) y de la página web Nomecalles.

2.4.3. Escala de madriguera

Existe mucho consenso en la bibliografía (ver revisiones en Bachmann *et al.*, 2008 y OMNRF, 2017) señalando que los aviones zapadores requieren paredes compuestas de materiales fácilmente excavables, paredes de determinadas alturas, lo más verticales y largas posibles, sin vegetación en la parte superior, en la pared, en el derrumbe y/o en frente a la pared y con determinadas orientaciones. Sobre ellas, construyen las madrigueras alejándose de la base de la pared.

Para testar estas hipótesis, en primer lugar, se midió la longitud de la subcolonia (distancia desde las madrigueras extremas) y de la estructura que la albergaba. En cada subcolonia se estudiaron las diferencias en los valores de las variables físicas entre la “zona con madrigueras” y la “estructura general donde está instalada la subcolonia”. Se establecieron cinco puntos de muestreo obtenidos tras dividir cada zona en seis tramos (Anexo 4, Figura II). En cada punto se midió la altura, inclinación de la pared, orientación y altura del material derrumbado en la base o “derrumbe”. También se

estimó el porcentaje de cobertura de vegetación herbácea, arbustiva y arbórea en la propia pared, el “derrumbe” y la zona superior de la estructura. Se intentó medir la penetrabilidad (excavabilidad) de los sustratos en el campo, pero el tipo de penetrómetro disponible no lo permitió. Durante las visitas se tomaron fotografías de las subcolonias con una escala de 1 m apoyada verticalmente a la estructura a modo de testigo métrico. La medición de las variables físicas de las subcolonias se realizó a finales de julio.

En segundo lugar, en 8 subcolonias situadas en acopios se escogieron 20 madrigueras al azar (o todas si había menos de 20) y 20 puntos distribuidos al azar por la superficie vertical de la estructura. Para esas madrigueras y puntos se estudiaron las siguientes medidas (Anexo 4, Figura III):

- La distancia vertical al extremo superior de la estructura y al derrumbe, la distancia horizontal al extremo más cercano de la estructura, y la altura de las madrigueras/puntos respecto al nivel del suelo. Esperamos que los aviones zapadores aniden preferentemente en zonas más altas y más alejadas de los bordes de la estructura para protegerse de la depredación (Hjertaas, 1984).
- La altura del derrumbe, la altura de la parte vertical de la estructura y la altura total de la estructura en esas madrigueras/puntos. Esperamos que aniden en puntos de menor altura de derrumbe para evitar el acceso de depredadores (Ghent, 2001).

Las distancias y alturas se midieron sobre las fotografías escaladas más modernas tomadas este año usando el programa QGIS.

Por último, se estudió la preferencia de ocupación de las madrigueras construidas durante este periodo reproductor (“nuevas”) y de las madrigueras construidas en años anteriores (“viejas”).

2.5. Biología reproductiva del zapador en los espacios mineros

En cada subcolonia estudiamos la fenología de las distintas fases de la reproducción (puesta de huevos, incubación, fase de pollos no volantes y fase de volantes). Considerando las duraciones de cada fase señaladas por Petersen (1955) y Cramp (1988), se calculó la fecha más temprana de inicio de incubación y la fecha más tardía. A partir de ese intervalo de incubación se hallaron el resto de fases. Los periodos de excavación y construcción de las madrigueras no se calcularon porque con frecuencia se utilizan madrigueras viejas. Se consideró que una madriguera estaba en fase de

incubación si se producían entradas con baja frecuencia (una vez cada hora) e iban siempre seguidas de una salida a los pocos segundos de un individuo adulto (Rebollo, 1988). Se consideró que una madriguera estaba en fase de pollos que no temorregulaban si la frecuencia de las entradas y salidas era un poco mayor (una vez cada 10 minutos).

En las colonias donde el número de individuos adultos capturados fue elevado también se estimó la fenología a partir del desarrollo de la placa incubatriz de las hembras y de la longitud de las alas de los volantones (ver Jones, 1986 y Redfern, 2010).

Se consideró que una subcolonia fue exitosa si se observó actividad de ceba de pollos, salvo si en visitas posteriores la subcolonia estaba abandonada sin haber tenido tiempo para finalizar el ciclo de reproducción.

2.6. Análisis estadísticos

Para analizar la influencia de las variables ambientales sobre la colonización y abundancia de los aviones zapadores a escala de colonia, se estandarizaron las variables ambientales y se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Este PCA nos permitió identificar los principales gradientes ambientales existentes en el conjunto de los espacios mineros. Se estudió la relación de los componentes principales (PC1 y PC2) con la colonización (presencia/ausencia de zapadores) mediante una prueba de muestras independientes (espacios colonizados vs no colonizados) y con la abundancia de individuos mediante regresiones lineales. La influencia de cada variable ambiental por separado en la colonización del espacio se estudió con pruebas de contingencia o de muestras independientes dependiendo de su naturaleza categórica o cuantitativa.

A escala de subcolonia, las preferencias se estudiaron mediante modelos lineales mixtos ajustados por el método de la máxima verosimilitud (ML). Las tres variables explicativas (tipo de estructura, edad y orientación) fueron los factores fijos, la identidad de la colonia fue el factor aleatorio y el número de parejas o la tasa de ocupación fueron variables respuesta. Con estos modelos se hizo una aproximación *stepwise*; tomando como relevantes diferencias en el Criterio de Información de Akaike corregido (AICc) inferiores a dos unidades negativas respecto al modelo sin factores fijos ($\Delta AICc$; ver Burnham y Anderson, 2002).

A escala de madriguera, la significación de las diferencias entre las variables físicas de la “zona con madrigueras” y de la “estructura general donde está instalada la subcolonia” se testó con modelos lineales mixtos ajustados por ML. La variable testada

fue la variable dependiente. La variable “zona con madrigueras” o “estructura general donde está instalada la subcolonia” fue el factor fijo. La colonia y subcolonia fueron factores aleatorios anidados. Para determinar la diferencia entre la zona con madrigueras y la estructura general se comparó el modelo con el modelo sin el efecto fijo mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC). Las diferencias entre distancias y alturas entre madrigueras aleatorias y puntos aleatorios se testaron por el mismo método, pero tomando como efecto fijo la variable “madriguera aleatoria/punto aleatorio”. Si los modelos no cumplían bien el supuesto de homocedasticidad se realizaron modelos lineales generalizados mixtos con distribución de error Gamma. La significación de las preferencias por madrigueras nuevas o viejas se comprobó mediante pruebas de contingencia entre madrigueras viejas-nuevas y madrigueras ocupadas-no ocupadas en cada subcolonia. La significación de las diferencias de las medidas corporales de los volantones, adultos macho y adultos hembra se testó con pruebas de muestras independientes.

El PCA se realizó con el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001). Las pruebas de muestras independientes, regresiones lineales y pruebas de contingencia se realizaron con la aplicación para el Excel UNStat4Excel (Calavia y García, 2017). La prueba empleada dependió de las características de los datos (n, normalidad de las muestras o los residuos, similitud en forma y dispersión, cumplimiento de las reglas de Cochran...). Los modelos lineales mixtos e histogramas se realizaron con el programa R (R Core Team, 2017). Para los modelos se usó el paquete lme4 (Bates *et al.*, 2015) y para calcular los AICc el paquete AICcmodavg (Mazerolle, 2017).

3. Resultados

3.1. Importancia de los espacios mineros para el avión zapador

De los 28 espacios mineros estudiados en 2016, 19 (67,9%) no presentaban colonias de avión zapador, 8 (28,6%) presentaban colonias ocupadas y 1 (3,6%) presentó una colonia desocupada (Figura 2). Los espacios mineros con colonias de avión zapador, ocupadas o no, se situaron en la CAM o en provincias limítrofes (Guadalajara y Toledo).

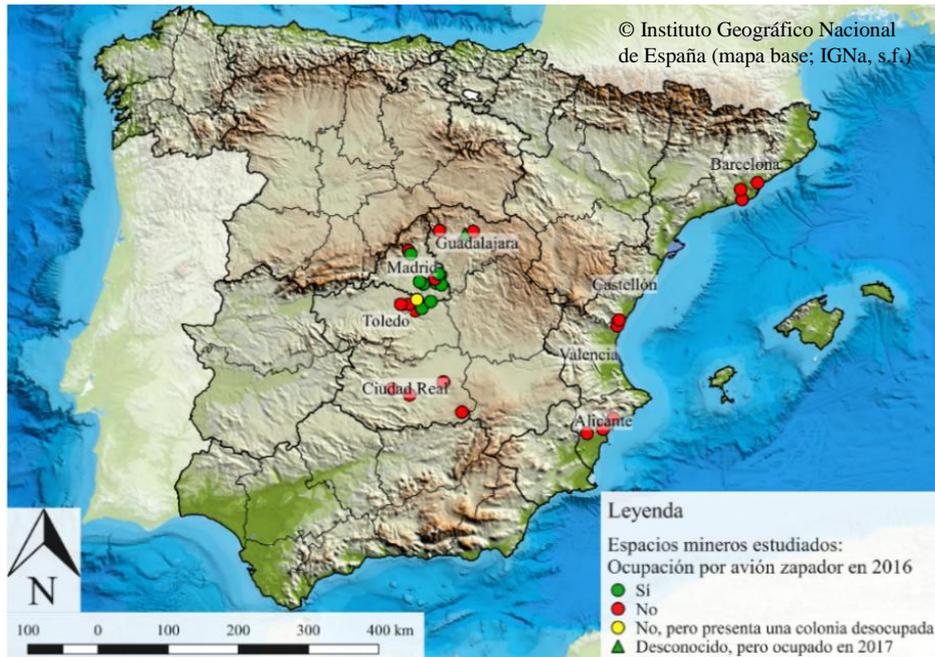


Figura 2. Presencia de colonias de avión zapador (ocupadas o no) en los espacios mineros estudiados en el territorio nacional. En círculo verde se señalan los 8 espacios mineros con presencia de colonias ocupadas en 2016, en amarillo el espacio minero con presencia de una colonia desocupada en 2016 y en rojo los 19 espacios mineros sin señales de presencia de avión zapador en 2016. Con un triángulo verde se indica un espacio minero con una colonia activa en 2017 que no fue muestreada en 2016.

El número total de individuos adultos estimados en las 8 canteras ocupadas en 2016 fue de 901 y en 2017 fue de 864. El censo de 2017 se eleva a 1362 si incluimos la nueva colonia detectada en 2017 (MAT, Figura 2 y 3).

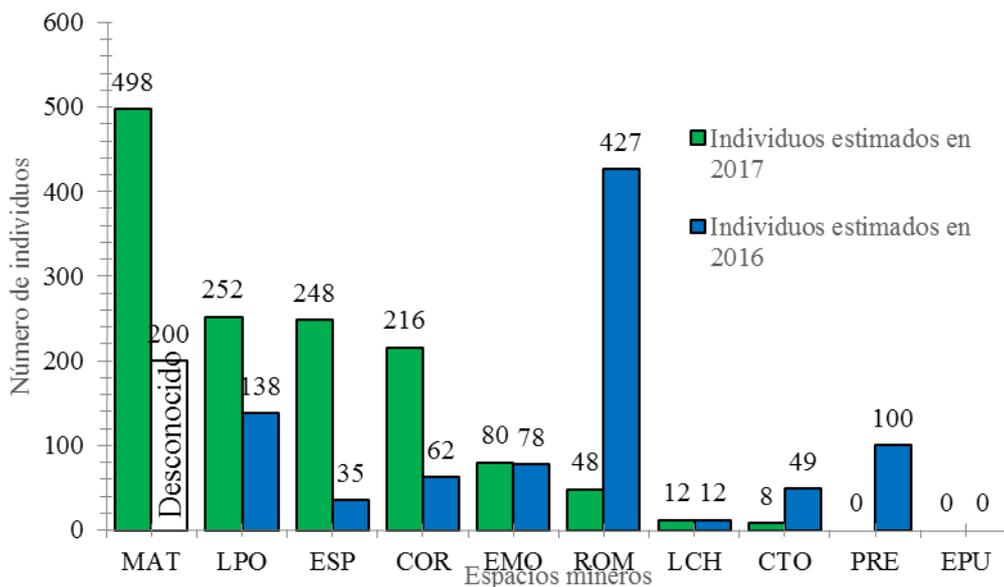


Figura 3. Número de aviones zapadores en los 10 espacios mineros con presencia de colonias, ocupadas o no, en 2016 y 2017. Los espacios mineros aparecen ordenados de mayor a menor número de aviones zapadores en 2017.

Hubo una elevada variación interanual en el número de aviones zapadores en los espacios mineros (Figura 3). No se observó una relación significativa entre el número de individuos observados en los espacios mineros en 2016 y en 2017 ($n=9$, $p=0,477$ con la regresión lineal robusta de Kendall-Theil).

El resultado de las encuestas a ornitólogos indica que no se conoce actualmente ninguna colonia importante de avión zapador ocupada en un ambiente natural en la CAM. Puede haber individuos aislados nidificando en arroyos cercanos a las explotaciones mineras. Todas las colonias importantes se localizan fuera de los ambientes riparios naturales, en taludes de origen antrópico, habitualmente en espacios mineros activos o abandonados y, en menor medida, en taludes creados durante las labores de excavación para la cimentación de edificios.

3.2. Preferencias de hábitat del avión zapador en los espacios mineros

3.2.1. Escala de colonia

Los dos primeros componentes principales del PCA explicaron el 19,1 y el 15,1% de la varianza. El PC1 ordenó los espacios mineros en función de variables climáticas (temperatura, altitud), actividad de la explotación minera (actividad o no en 2016 y tiempo de inactividad), distancia a distintos medios acuáticos (arroyos, ríos y lagos) y material minero sometido a explotación (caliza, pórfido), indicando que estas variables están relacionadas entre sí en los espacios mineros estudiados. En el extremo negativo del PC1 se sitúan los espacios mineros localizados a mayor altitud, con temperaturas anuales medias más bajas, menores distancias a cursos fluviales (arroyos y ríos) y donde se extraen materiales tipo pórfido y no tipo caliza. El PC2 ordena los espacios mineros en función principalmente de la litología, el tipo de material minero extraído (arena, caliza), la superficie de usos del suelo a un km alrededor del espacio minero, la abundancia regional de aviones zapadores y otras variables que también influyeron en el PC1 como la distancia a humedales. En la parte positiva del PC2 se sitúan los espacios mineros dedicados a la explotación de arena, con menores distancias a humedales, mayor superficie de agua y usos agrícolas (menor superficie destinada al uso forestal) y mayor abundancia regional de zapadores..

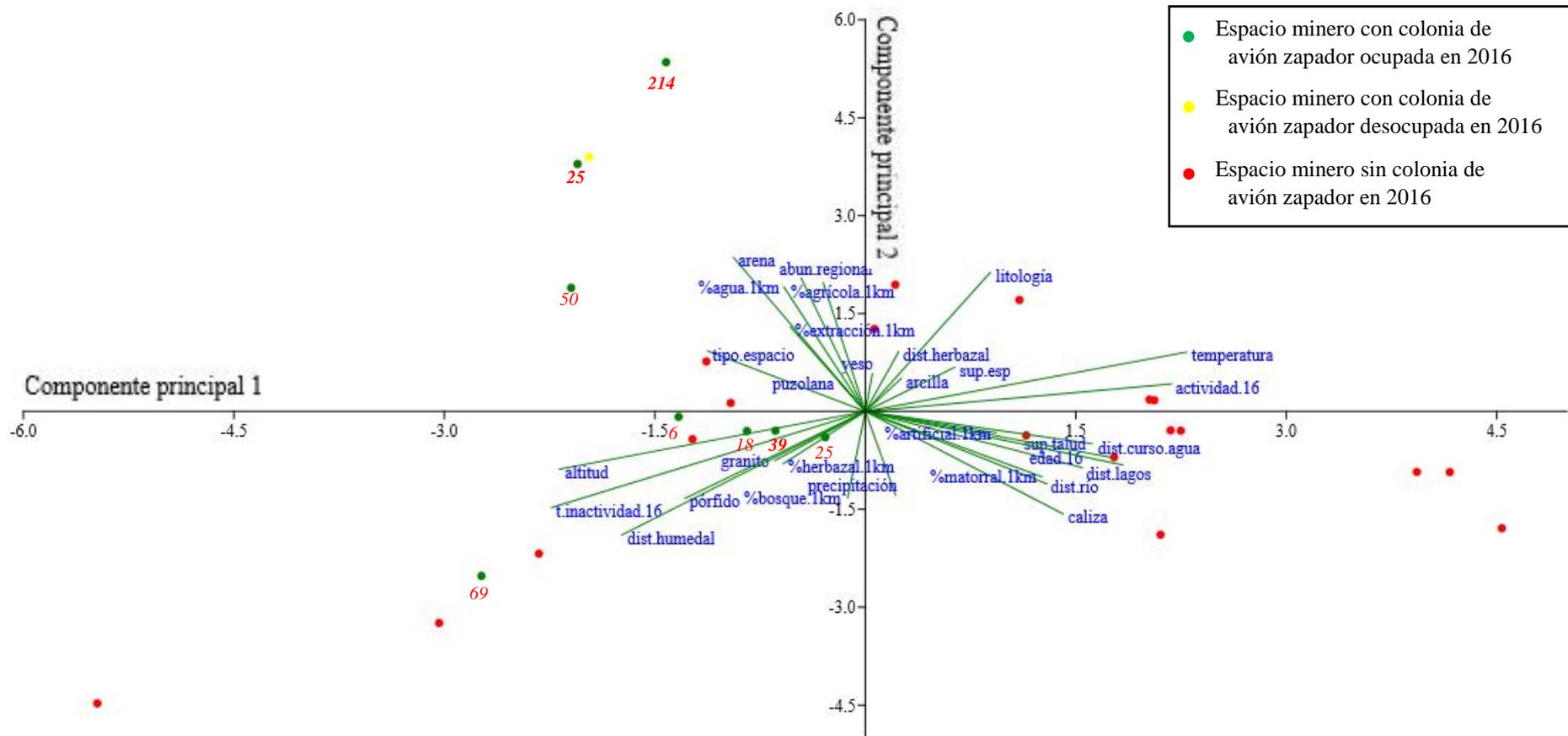


Figura 4. Análisis de ordenación de los 28 espacios mineros muestreados en 2016 en función de las variables ambientales generales de cada espacio minero: *Biplot* formado con los dos primeros componentes principales del PCA. Bajo los puntos verdes se indica el número de parejas de avión zapador estimadas. Para el significado de las abreviaturas de las variables ver Anexo 3.

Todos los espacios mineros con colonias de avión zapador en 2016, ocupadas o no, se situaron en la parte del plano de ordenación con valores negativos del PC1 (Figura 4)

Los espacios mineros con colonias de avión zapador presentaron un valor medio menor respecto al PC1 y un valor medio mayor, tendente a la significación ($p=0,075$), respecto al PC2 (Tabla 1). Los espacios mineros con colonias presentaron un mayor tiempo de inactividad de la explotación minera, una menor distancia a cursos de agua (ríos o arroyos), una menor antigüedad del espacio minero y, de forma tendente a la significación, una mayor superficie de cursos y láminas de agua a 1 km en torno a los límites del espacio minero. Además, las colonias fueron más frecuentes en los espacios mineros de tipo gravera (que están destinados a la extracción de arena) o destinados a la producción de áridos comparado con los espacios mineros de tipo cantera (que se centran en la extracción de otro material diferente a la arena) o destinados a la producción de otros materiales de construcción como cemento.

Tabla 1 Comparación de los valores de las variables ambientales entre los espacios mineros con ($n_1=9$) y sin ($n_0=19$) colonias de avión zapador en 2016. Se indica el tipo de prueba estadística realizada, el nivel de significación, cuándo el efecto fue significativo ($p<0,05$, en negrita) o próximo a la significación ($p<0,1$, en cursiva), y el signo del efecto con respecto a la presencia de colonias. Abreviaturas: G=Graveras; CA=Canteras destinadas la venta de áridos; CC=Canteras destinadas a la producción de cemento. * $n_0=18$; ** $n_1=8$.

Variable	Tipo de prueba	p	signo	Variable	Tipo de prueba	p	signo
Componente principal 1	Prueba de Welch	0,003	-	Material arena	Mid-p	0,003	+
<i>Componente principal 2</i>	<i>Prueba de Welch</i>	<i>0,075</i>	+	<i>Superficie cuerpos de agua en 1km (%)</i>	<i>Prueba de la mediana</i>	<i>0,095</i>	+
Tiempo inactividad 2016*	Prueba de la mediana	0,004	+	Tipo explotación**	Mid-p	0,001	
Actividad minera en 2016	<i>Mid-p</i>	0,009	-			0,006	G>CA
Edad de la cantera en 2016	Prueba de Welch	0,004	-		Prueba post-hoc de LSD de Fisher	0,001	G>CC
Distancia a curso de agua	Prueba de la mediana	0,013	-			0,146	CA=CC

La relación entre las coordenadas de los espacios mineros en los PC1 y PC2 y las abundancias de aviones zapadores en dichos espacios en 2016 fue no significativa (PC1, $p=0,358$ según la regresión lineal robusta de Kendall-Theil; y PC2, $p=0,264$ según el ANOVA).

3.2.2. Escala de subcolonia

El número de subcolonias y madrigueras fue mayor en acopios y taludes respecto a las escombreras, fue mayor en orientación norte respecto al resto de las orientaciones, y fue mayor en las estructuras con una edad menor de 9,5 años de antigüedad (Figura 5; 17 colonias ocupadas y 13 desocupadas). El número de parejas reproductoras fue mayor en los acopios que en el resto de las estructuras, en las orientaciones norte y oeste, y en las estructuras con una antigüedad inferior a 3,5 años y, en menor medida, inferior a 6,5 años. Las estructuras con más de 6,5 años, a pesar de presentar madrigueras de avión zapador, apenas presentaron parejas reproductoras.

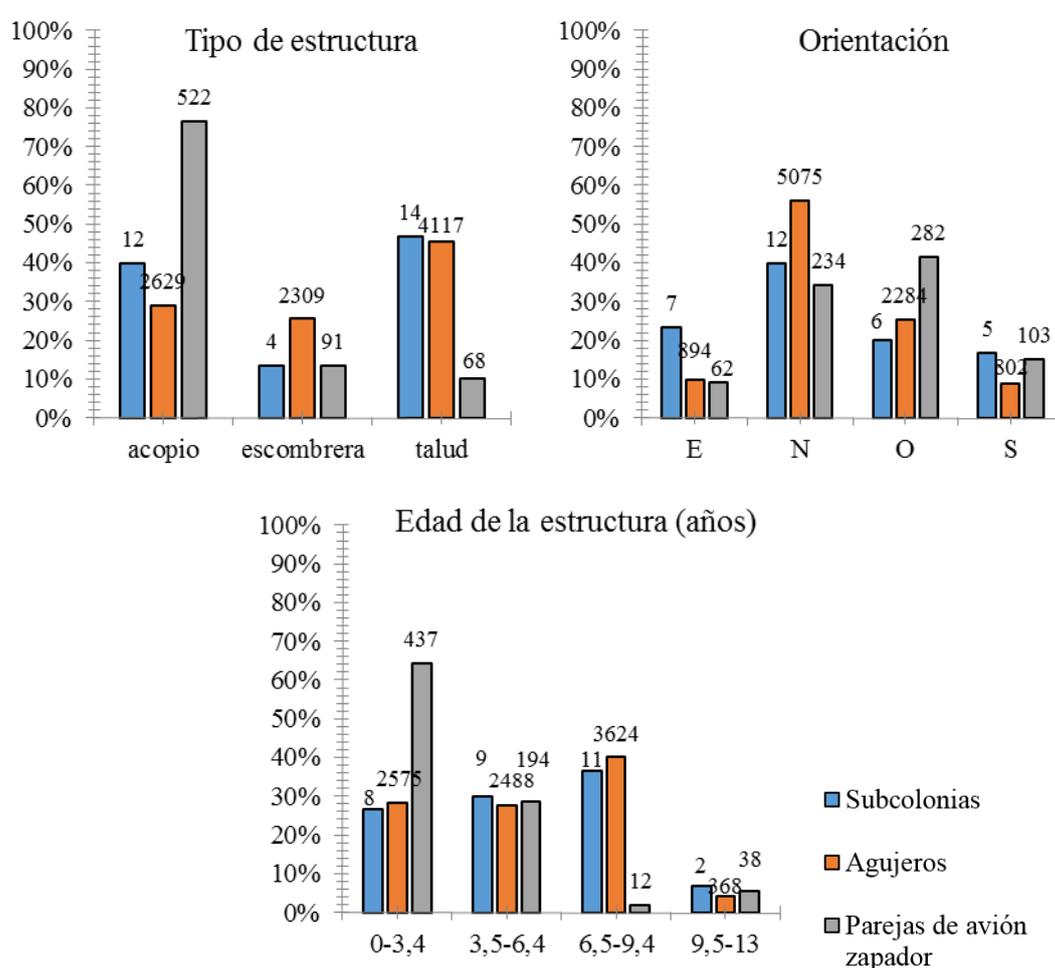


Figura 5. Porcentaje de subcolonias, madrigueras y parejas de avión zapador en 2017 en función del tipo de estructura, la orientación y la edad de dicha estructura. Sobre cada barra se muestra el valor absoluto.

La relación entre las tres variables que caracterizan la subcolonia (tipo de estructura donde se asienta, orientación y antigüedad de la misma) y el número de parejas reproductoras no fue significativa ($\Delta AICc = -1,85$ para el mejor modelo con covariables).

La tasa de ocupación de las madrigueras en los acopios (23,6%) fue significativamente mayor que en el grupo taludes-escombreras (10,3%; $\Delta AICc = -9,38$). Sin embargo, el hecho de que muchas de las subcolonias no hayan estado ocupadas este año (tasa de ocupación=0) disminuye la normalidad de los errores del modelo y puede introducir un sesgo si por azar estudiamos mayor número de subcolonias desocupadas de uno de los tipos de estructura u orientaciones que de los otros. Por tanto, se realizó un análisis de dos muestras independientes comparando la ocupación entre los dos tipos de estructura (acopios y escombreras/taludes) sólo para aquellas colonias ocupadas. Ambas muestras resultaron normales y de varianzas distintas, por lo que se aplicó la prueba de Welch que resultó significativa ($p=0,023$).

La longitud modal de la “zona con madrigueras” en acopios fue de 10 a 20 metros; y en taludes, de 20 a 30 metros (Figura 6). La longitud mínima de dichas zonas fue 4 m en los acopios y 3 m en los taludes-escombreras. Las longitudes de los acopios en los cuales se localizaron las colonias fueron de mayor a menor frecuencia 50, 110 y 30 metros. La longitud más común de los taludes en los cuales se asentaron colonias fue de 100 a 150 metros.

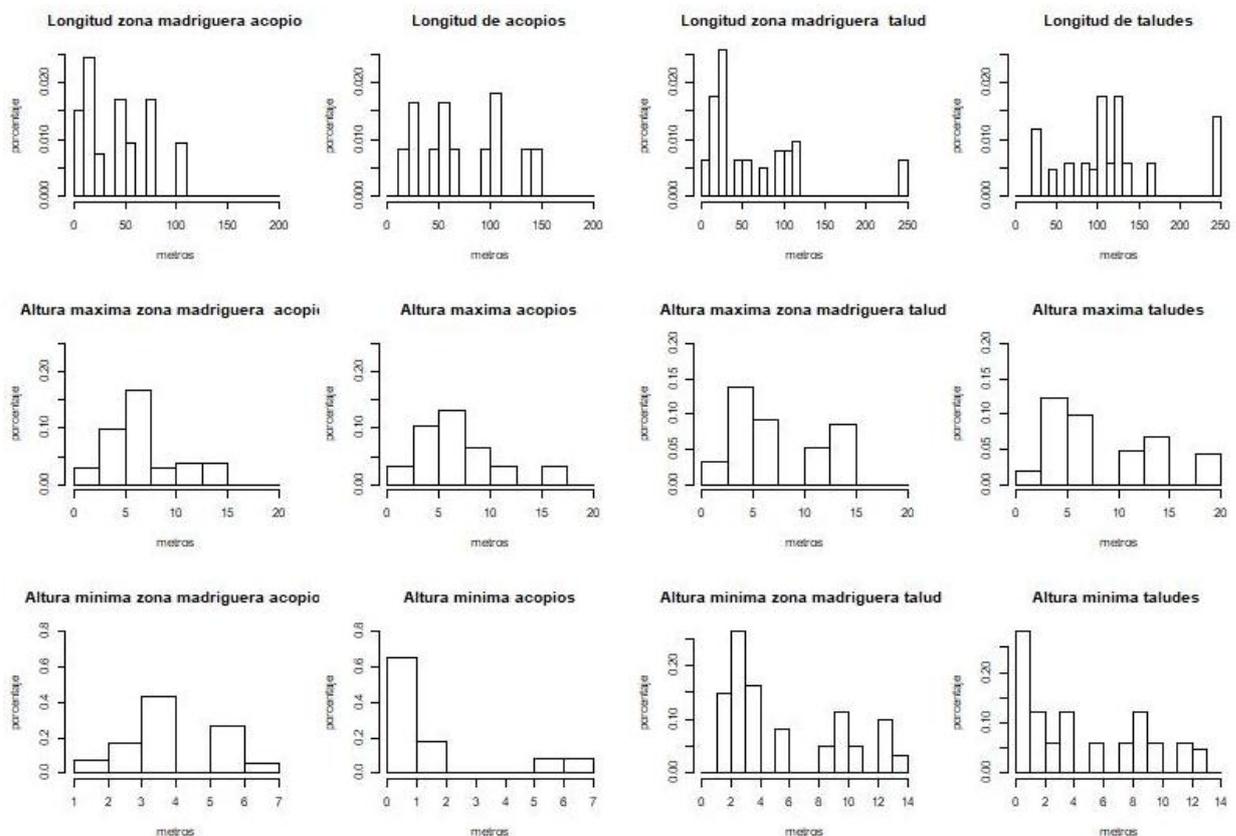


Figura 6. Longitud, altura máxima y altura mínima de la estructura general comparada con la zona donde se localizan las madrigueras. Dentro de la categoría taludes se incluyen también las escombreras.

3.2.3. Escala de madriguera

Las madrigueras en las subcolonias de tipo acopio se situaron en las zonas con mayor pendiente, altura total y altura de la parte vertical (Tabla 2). Esas preferencias no se detectaron en las subcolonias asentadas en taludes-escombreras. Los histogramas de las variables se encuentran en el Anexo 5.

Tabla 2. Comparación entre las características generales de la estructura y las características particulares de la parte donde estaban excavadas las madrigueras en acopios y en taludes-escombreras. Se muestran las variables físicas analizadas, la estructura del error de los modelos lineales mixtos utilizados, la transformación de los datos realizada y el nivel de significación del análisis (“significativo” si $\Delta AIC < -2$).

Variable	Acopios		
	Estructura de error	Transformación de los datos	ΔAIC
Altura vertical en los acopios	Gamma	No	-5,34
Altura total en los acopios	Gamma	No	-4,79
Pendiente en los acopios	Normal	No	-16,19

El avión zapador prefirió hacer sus madrigueras en zonas de altura total entre 4 y 6 m, altura vertical entre 1 y 2 m e inclinaciones entre 60 y 110° (Figura 7).

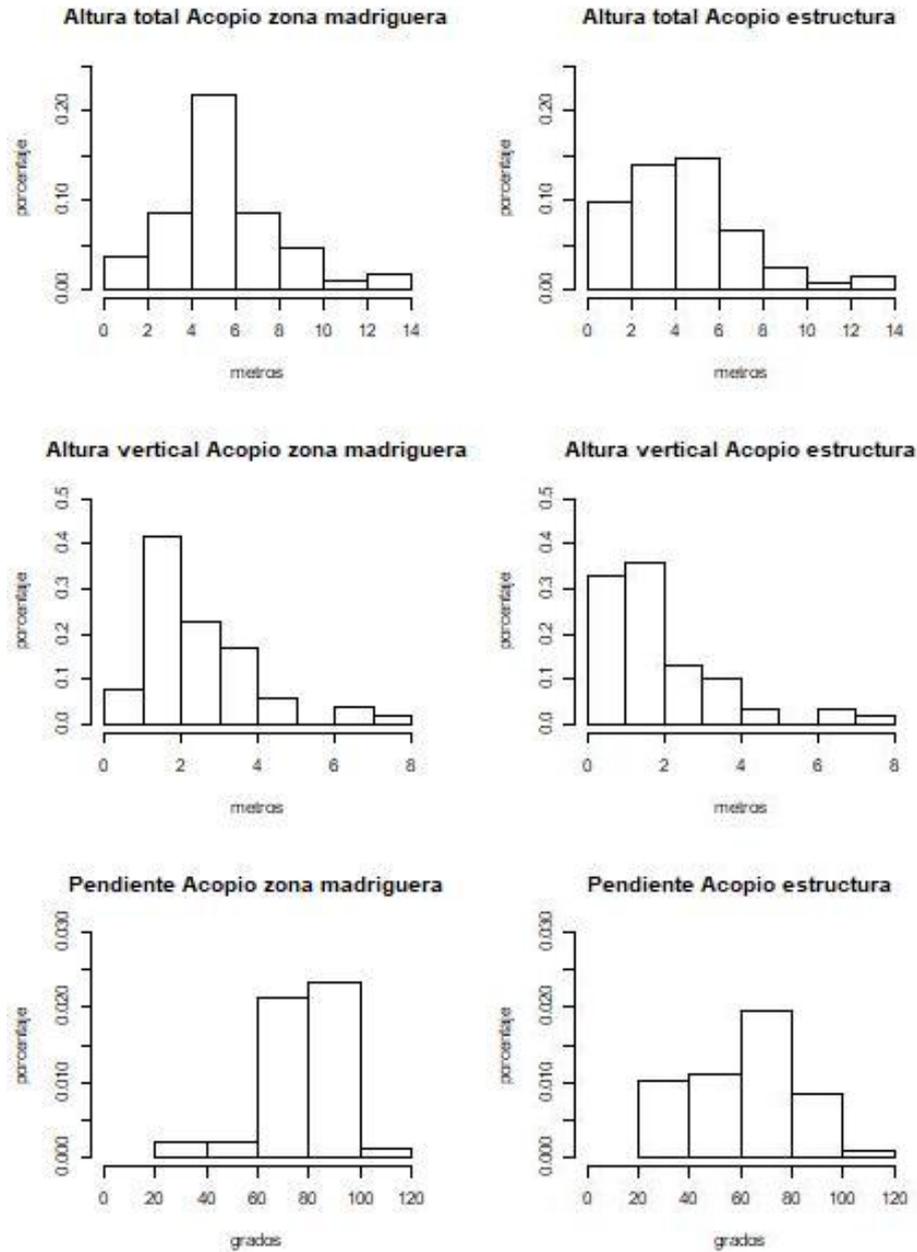


Figura 7. Alturas totales, alturas verticales y pendientes medidas en la “zona con madriguera” y la “estructura general donde está instalada la subcolonia” de cada subcolonia.

Las madriguera estuvieron situadas a mayor altura ($\Delta AIC = -5.21$) y en lugares con derrumbe más alto que los puntos colocados al azar ($\Delta AIC = -2.19$). Las madriguera tendieron a situarse a alturas no inferiores a 2 m y, en general, se encontraron en zonas con un derrumbe mayor (Figura 8). Los valores de las demás variables se muestran en el Anexo 6.

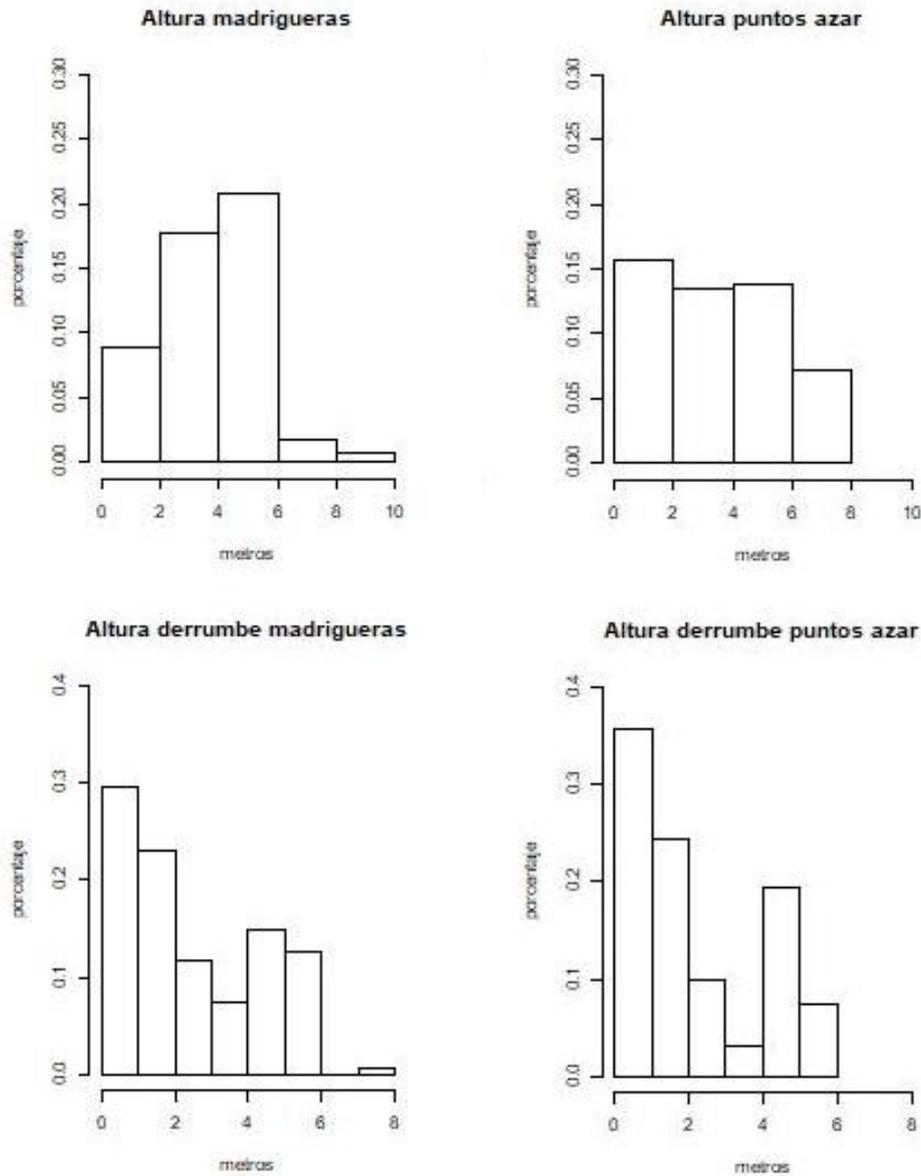


Figura 8. Altura de las madrigueras y altura del derrumbe bajo las madrigueras en 20 madrigueras y 20 puntos al azar estudiados en 8 de los acopios. Ambas alturas resultaron significativamente distintas entre las madrigueras y puntos al azar.

En las subcolonias estudiadas se observó una preferencia significativa por la ocupación de madrigueras nuevas esa temporada de cría frente a la ocupación de madrigueras procedentes de temporadas anteriores (Tabla 3). Este resultado fue significativo cuando se agruparon las subcolonias por tipos de estructuras (acopio, talud, etc.) y cuando se consideraron todas las subcolonias conjuntamente.

Tabla 3. Resultado de los análisis estadísticos utilizados para estimar la preferencia de los aviones zapadores por las madrigueras construidas nuevas y por las madrigueras construidas en temporadas anteriores. Se muestra la subcolonia estudiada, el tipo de estructura donde está asentada, el número de madrigueras nuevas y viejas, el número de madrigueras nuevas y viejas ocupadas, el nivel de significación y el análisis estadístico utilizado. En la parte baja de la Tabla se muestran los resultados por tipos de estructuras y para el total de subcolonias. En negrita aparecen los efectos significativos ($p < 0,05$).

Subcolonia	Tipo	Número de madrigueras		Número de madrigueras ocupadas		Prueba aplicada	p
		Viejos	Nuevos	Viejos	Nuevos		
COR1	Acopio	316 77%	93 23%	44 70%	19 30%	Chi ² de Pearson	0,127
COR2	Acopio	5 13%	35 88%	0 0%	5 100%	Mid-p	0,753
Total de COR		321 71%	128 29%	44 65%	24 35%	Chi ² de Pearson	0,178
CTO1	Talud	36 95%	2 5%	4 100%	0 0%	Mid-p	0,601
EMO1	Acopio	769 72%	301 28%	13 33%	27 68%	Chi ² de Pearson	<0,001
LCH1	Acopio	81 96%	3 4%	4 100%	0 0%	Mid-p	0,569
LCH2	Acopio	57 85%	10 15%	1 100%	0 0%	Mid-p	0,575
LCH3	Acopio	9 100%	0 0%	1 100%	0 0%	Mid-p	0,500
Total de LCH		147 92%	13 8%	6 100%	0 0%	Mid-p	0,702
LPO1	Escombrera	759 94%	52 6%	71 78%	20 22%	Chi ² de Pearson	<0,001
<u>Total de acopios</u>		1237 74%	442 26%	63 55%	51 45%	Chi ² de Pearson	<0,001
<u>Total de escombreras</u>		759 94%	52 6%	71 78%	20 22%	Chi ² de Pearson	<0,001
<u>Total de taludes</u>		36 95%	2 5%	4 100%	0 0%	Mid-p	0,601
<u>Total de taludes y escombreras</u>		795 94%	54 6%	75 79%	20 21%	Chi ² de Pearson	<0,001
Total general		2032 80%	496 20%	138 66%	71 34%	Chi ² de Pearson	<0,001

3.3. Biología reproductiva del avión zapador en los espacios mineros

3.3.1. Fenología

Dentro de una misma subcolonia, se observa un desfase entre las distintas parejas reproductoras (Figura 9). Este desfase es mayor, en general, a medida que aumenta el número de parejas reproductoras de la colonia. También se observa un amplio desfase entre distintas subcolonias, este desfase es superior a un mes entre las subcolonias más adelantadas y las más tardías. Las subcolonias más adelantadas iniciaron la puesta de huevos a principios de abril y las más tardías a mediados de mayo. Estos desfases

dentro de las subcolonias y entre subcolonias amplían el periodo reproductor del avión zapador en los espacios mineros, que se extiende desde principios de abril (con el inicio de la puesta en las subcolonias más adelantadas) hasta finales de agosto (con la presencia de los últimos volantones en las madrigueras más retrasadas).

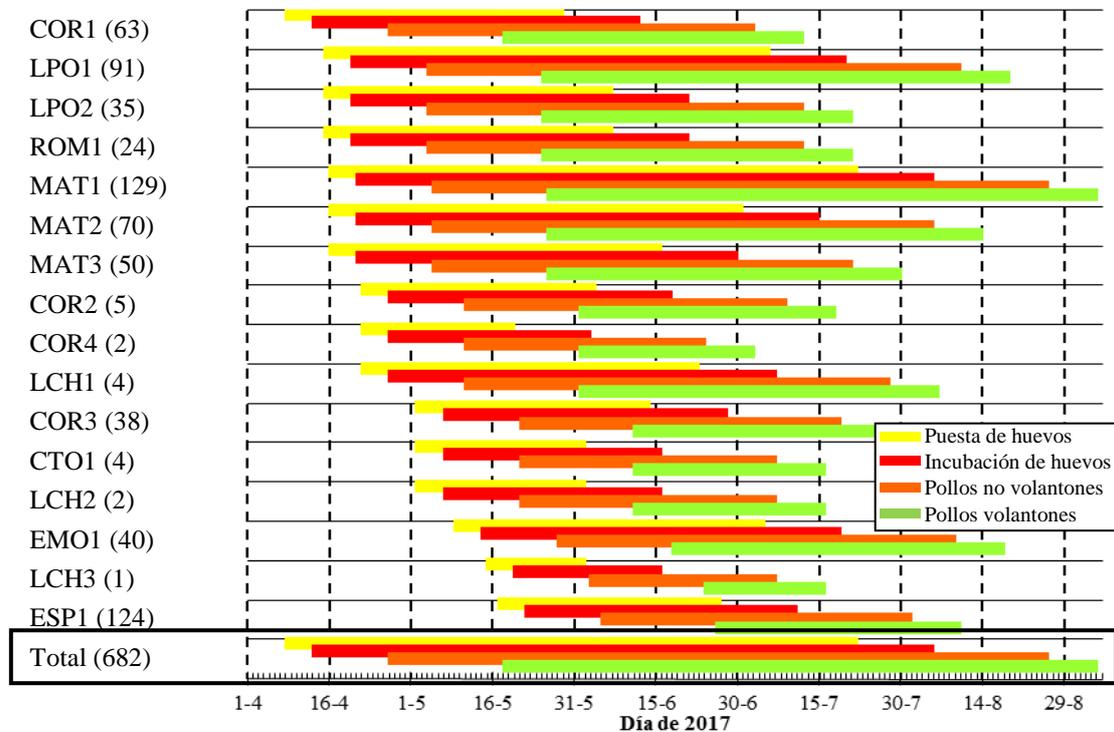


Figura 9. Fenología de las distintas fases de la reproducción del avión zapador en cada una de las subcolonias y para el total de subcolonias. Entre paréntesis se muestra el número de parejas estimadas en cada subcolonia. Las subcolonias están ordenadas desde las más adelantadas a las más retrasadas respecto al inicio de la puesta.

La fenología estimada a partir de la observación del comportamiento de las parejas (Figura 9) concuerda con la calculada a partir del análisis de la placa incubatriz de las hembras adultas capturadas (Figura 10). Los datos procedentes de individuos capturados dieron rangos temporales más estrechos.

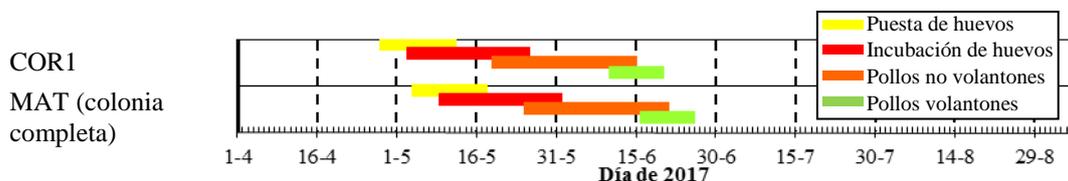


Figura 10. Fenología de las distintas fases de la reproducción estimada en las subcolonias con más capturas de ejemplares adultos. La fenología se estimó a partir del estado de desarrollo de las placas incubatrices de los aviones zapadores adultos hembras y el desarrollo de las plumas de los pollos volantones.

Hubo éxito reproductor, al menos parcial, en todas las subcolonias ocupadas (Tabla 4).

Tabla 4. Éxito reproductor de las subcolonias ocupadas estudiadas en 2017. Se indica el nombre de la subcolonia y si se hubo o no éxito reproductor en la subcolonia.

Subcolonia	Éxito reproductor	Subcolonia	Éxito reproductor
COR1	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas	LCH2	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas
COR2	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas	LCH3	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas
COR3	Sí, (ninguna visita sin pájaros)	LPO1	No en las madrigueras más atrasadas
COR4	Sí, (ninguna visita sin pájaros)	LPO2	No en las madrigueras más atrasadas
CTO1	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas	MAT1	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas
EMO1	No en las madrigueras más atrasadas	MAT2	No en las madrigueras más atrasadas
ESP1	No en las madrigueras más atrasadas	MAT3	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas
LCH1	No en las madrigueras más atrasadas	ROM1	Sí, incluso en las madrigueras más atrasadas

Los motivos de fracasos parciales de las subcolonias pueden ser diversos. El fracaso que se observó en ESP1 fue debido muy probablemente a las intensas lluvias caídas los dos días anteriores (Figura 11).

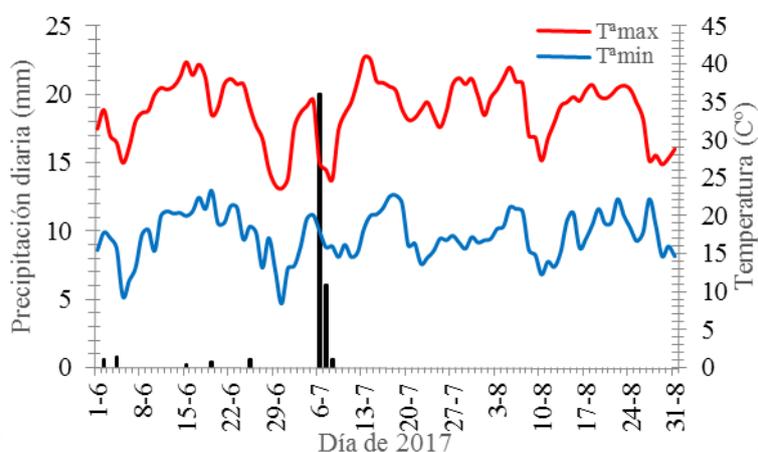


Figura 11. Precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias de la estación meteorológica más cercana al espacio minero ESP durante los meses de verano de 2017. Datos de © AEMET disponibles en Datosclima.es (s.f.). Se produjeron intensas precipitaciones por tormentas entre el 6 y 7 de julio.

La actividad minera sólo afectó a los aviones zapadores en dos subcolonias. Las afecciones fueron modificaciones de las morfologías de los acopios por motivos de seguridad y extracción de material de acopios para su venta. Asimismo, observamos la desaparición, antes del periodo reproductor, de subcolonias existentes el año pasado, en

un caso (un talud) por relleno de lodos y en los otros dos (un acopio y un talud) presumiblemente por extracción o excavación de material.

3.3.2. Medidas corporales

Se capturaron individuos en cuatro colonias; pero sólo en el espacio minero MAT se capturó un número elevado de individuos (Tabla 5).

Tabla 5. Media y desviación típica de las medidas corporales de los individuos capturados en el espacio minero de MAT en 2017.

	n	Ala (mm)		Quilla (mm)		Tarso (mm)		Peso (g)	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	S
Individuos totales	106	103,2	4,52	15,7	0,81	10,3	0,28	10,9	1,59
Adultos	45	106,0	3,63	15,7	0,78	10,3	0,29	11,6	1,42
Machos	25	106,0	3,29	15,5	0,58	10,3	0,28	11,2	1,01
Hembras	20	105,9	4,10	15,9	0,96	10,2	0,30	12,1	1,72
Pollos volantes	61	101,2	4,00	15,7	0,84	10,3	0,27	10,3	1,50

En esta colonia se observó una longitud de ala significativamente menor en los pollos volantes que en los individuos adultos, así como un peso menor en los pollos volantes que en las hembras adultas (Tabla 6).

Tabla 6. Resultado de las comparaciones múltiples realizadas para estudiar diferencias en las medidas corporales entre pollos volantes, machos adultos y hembras adultas en la colonia de MAT.

	Prueba utilizada	p	Post-hoc utilizado	Resultado
Ala	ANOVA	<0,001	LSD de Fisher	Volantes<Machos; p<0,001 Volantes<Hembras; p<0,001 Machos=Hembras; p=0,937
Quilla	Kruskal-Wallis	0,784	-	-
Tarso	Kruskal-Wallis	0,309	-	-
Peso	Mood	0,039	LSD de Fisher (significación exacta)	Volantes=Machos; p=0,755 Volantes<Hembras; p=0,051. Machos=Hembras; p=1,000

El peso de los individuos fue variable a lo largo del periodo reproductor. El peso de los adultos descendió de manera significativa ($p<0,001$) de 13,9 g a 10,8 g entre el 22 y el 30 de junio. El peso de los pollos volantes descendió de manera significativa ($p<0,001$) de 12,7, 10,0 y 9,4 g los días 22, 29 y 30 de junio respectivamente según la prueba de Brown-Forsythe y la prueba post-hoc de la T2 de Tamhane (29 vs 30 de julio, $p=0,049$; resto de diferencias entre días $p<0,001$).

4. Discusión

El avión zapador mostró una elevada preferencia por los espacios mineros como hábitat de reproducción. Esto representa una oportunidad para que los espacios mineros contribuyan a la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, también presenta el reto de conciliar la actividad minera con la supervivencia y éxito reproductor de los zapadores. El protocolo de actuación ha de garantizar esta compatibilidad teniendo en cuenta la selección de los hábitats mineros por el avión zapador, con decisiones a varias escalas espaciales, y la biología de la reproducción de los zapadores.

4.1. Importancia de los espacios mineros para el avión zapador

Nuestro estudio muestra un predominio de los espacios mineros frente a las localizaciones “naturales” como hábitat de nidificación del avión zapador en la CAM y sus alrededores. En 1994, su distribución en la CAM estaba “restringida a las cuencas de los principales ríos de la Comunidad” y “también en algunas graveras y embalses” (SEO, 1994). Más tarde, en los censos de 1998 y 2007, respectivamente, el 72% y el 22,7% de las colonias se localizaron en zonas de extracción de áridos, el 16% y el 72,7% en plantas de selección de áridos, y sólo el 14,8% y el 4,5% en taludes naturales (SCV, 1999 y 2007). Se observa una tendencia al descenso de la proporción de colonias en taludes naturales. Esta tendencia se ha observado también en otros lugares de España, como en la Comunidad Autónoma de Extremadura, donde se pasa de un 67% de las colonias en plantas de selección y zonas de extracción en 1986 a un 93% en 2004 (De Lope *et al.*, 1987 y González, 2004 citados en IKT, S.A., 2008). El avión zapador también prefiere los espacios mineros frente a los espacios “naturales” en diversos lugares, tanto nacionales, como en la provincia de Orense en 1995 (37% vs 5%; González y Villarino, 1997), en la provincia de Álava y zonas limítrofes en 2005 (el 66,7%; Ruiz de Azua *et al.*, 2006), en la Comunidad Valenciana en 2016 (72,7% vs 9,1%, y sólo el 2,5% de las parejas; Generalitat Valenciana, 2016); como internacionales, en el lago Qu’Appelle en Canadá, en 1980-81 (51,7% vs 21,7%; Hjertaas, 1984), en la República Checa en el periodo de 1992-2005 (72,6% vs 3%; Heneberg, 2007) y otros.

El aumento del número de colonias en espacios mineros podría deberse al deterioro de los ambientes riparios naturales (Tucker y Heath, 1994 citado en SCV, 1999). La aplicación del índice hidromorfológico de Calidad de Bosque de Ribera (QBR) a ríos de 12 cuencas mediterráneas españolas en 1999-2000 mostró que el 66% presentaban una

calidad inferior a “buena” (Suárez *et al.*, 2002). Este índice tiene en cuenta la modificación del canal fluvial y la existencia de estructuras construidas artificiales (Munné *et al.*, 2003). En la campaña de medición de 2010 de la cuenca del Tajo, que abarca la CAM y sus alrededores, la calidad inferior a “buena” se dio en el 80% de los ríos según los indicadores hidromorfológicos usados (Baeza, 2013). Recientemente, el río Jarama, que junto al Henares agrupa la mayor parte de las colonias ocupadas de la CAM en 2007 (SCV, 2007), tuvo como uno de sus principales problemas la pérdida de sus características morfológicas, debida en parte a la construcción masiva de defensas laterales. Otros factores responsables fueron la regulación de los ríos en cabecera y la explotación agrícola y ganadera hasta casi las orillas (Urquiaga, 2003).

En la CAM se produjo un descenso del número de colonias detectadas de 1998 a 2007, aunque con un total de individuos similar. La SCV (2007) sugiere que fue debido al relleno de taludes en las explotaciones y al cierre y rehabilitación de plantas de selección de áridos. Las fluctuaciones del número de colonias mencionadas en los espacios madrileños sugieren una gran influencia de la gestión minera en las poblaciones de esta especie. Si el descenso del número de colonias se confirma, esta concentración de individuos en menos lugares puede también aumentar su vulnerabilidad (Ruiz de Azua *et al.*, 2006).

La creciente importancia de los espacios mineros para esta especie hace necesarias medidas para garantizar su supervivencia y reproducción en ellos. En este sentido, la cooperación con los operadores de canteras ya ha dado resultados positivos en el pasado (Hjertaas, 1984; Lonchamp y Michelat, 2015). Ciertos tipos de extracción de áridos podrían incluso expandir el área de distribución de la especie (García y Álvarez, 2000).

4.2. Preferencias de hábitat del avión zapador en los espacios mineros

Los aviones zapadores mostraron preferencias de hábitat a las tres escalas espaciales analizadas: colonia, subcolonia y madriguera.

4.2.1. Escala de colonia

Los espacios mineros colonizados por el avión zapador presentaron una distancia menor a cursos fluviales (ríos y arroyos) que los no colonizados. Estos ambientes riparios son los hábitats “naturales” de nidificación de los zapadores (Sáez-Royuela, 1954) desde donde podrían colonizar el espacio minero cercano. Además, los ambientes riparios y los humedales asociados son importantes áreas utilizadas por los zapadores para alimentarse o dormir (Falconer *et al.*, 2016; Moffat *et al.*, 2005). Es interesante destacar

que la distancia a los ríos (sin contar arroyos) no fue significativa, sugiriendo que los ambientes riparios generados por cursos fluviales de menor entidad, como los arroyos, pueden cumplir similares funciones y ser importantes en la distribución espacial de esta especie. En esta línea, una mayor superficie de cuerpos de agua (hábitat de alimentación del zapador) se relacionó positivamente con la colonización de los espacios mineros estudiados. Relacionado también con la preferencia por los ambientes riparios y humedales, existió una preferencia significativa por las graveras frente a las canteras. Las graveras son espacios mineros donde se extrae principalmente arena, variable también significativa. Los lugares de extracción de arena y, en particular, las graveras presentarían taludes más excavables y una menor distancia a los ambientes riparios. En conjunto, estos resultados no apoyarían nuestra hipótesis inicial de que el efecto atrayente de los espacios mineros podría situar las colonias de avión zapador en una posición alejada de sus hábitats más naturales (las riberas de los ríos).

La actividad de la explotación minera mostró una relación compleja con la colonización de los zapadores. Por un lado, la edad de las canteras influyó de forma negativa sobre la colonización, lo cual es coherente con el abandono de los taludes más viejos por los zapadores. Los taludes viejos sufren pérdida de verticalidad por derrumbes, invasión de la vegetación por procesos de sucesión secundaria y procesos de endurecimiento que dificultan las actividades de excavación (Heneberg, 2009; Hjertaas, 1984). Por otro lado, la inactividad de la mina durante el año del muestreo y el tiempo de inactividad se relacionaron positivamente con la colonización. Esto sugiere que los zapadores evitan las molestias por actividad minera cercana, lo cual no concuerda con la reconocida capacidad de los zapadores para colonizar los frentes de explotación activos y preferir los taludes más recientes para excavar (Heneberg, 2012). Esta incoherencia quizás pueda explicarse por la correlación con otras variables (Anexo 7); pues, por ejemplo, todos los espacios de tipo gravera estuvieron inactivos ese año (Anexo 2). Será necesario estudiar en mayor profundidad la relación entre la actividad minera y la colonización de los zapadores para obtener conclusiones más precisas.

4.2.2. Escala de subcolonía

El avión zapador colonizó de manera similar los distintos tipos de estructuras (acopios, taludes y escombreras), orientaciones y edades de las estructuras. Este resultado es consistente con la capacidad del avión zapador de colonizar tipos variados de estructuras verticales siempre y cuando dispongan de sustratos arenosos fácilmente

excavables (Heneberg, 2001). Esta versatilidad del avión zapador facilita las actuaciones de manejo para suministrar lugares de nidificación de esta especie en los espacios mineros. Por otro lado, la tasa de ocupación de las madrigueras resultó mayor en acopios que en el conjunto de escombreras y taludes. Esto podría deberse a la menor edad que suelen presentar las superficies verticales de los acopios, más inestables y efímeros que las de los taludes, y que reduciría el número de madrigueras disponibles de temporadas anteriores que se ocupan menos que las madrigueras nuevas.

La falta de preferencia por una orientación determinada es consistente con los resultados obtenidos por otros autores (Hjertaas, 1984; OMNRF, 2017). Esto sugiere que las cuestiones térmicas no son importantes y lo más relevante es la orientación respecto a recursos como las fuentes de alimento o a las direcciones con mayor facilidad de acceso a la colonia (OMNRF, 2017).

4.2.3. Escala de madriguera

El zapador concentró las madrigueras en las zonas de la pared con mayor pendiente, altura total y altura de la parte vertical, lo que concuerda con las preferencias que habitualmente muestra el avión zapador (Hjertaas, 1984). Dentro de la pared, las madrigueras evitaron alturas inferiores a 2 metros. Los valores de altura total superior a 4 metros y altura vertical superior a 1 metro son consistentes con los valores dados en la bibliografía (Hjertaas, 1984). Construir las madrigueras a una mayor altura en la pared les permite alejarse de la base del acopio, reduciendo el riesgo de depredación. Cabría destacar que las pendientes mínimas fueron menos verticales que las mencionadas en revisiones recientes como la de OMNRF (2017). El hecho de que sólo hubiera diferencias significativas de alturas de la “zona de madrigueras” respecto a la “estructura general donde estaba situada la subcolonia” en acopios probablemente se debió a que los taludes presentaron alturas de estructura y derrumbe más homogéneas.

Aunque el zapador reutilizó madrigueras de las temporadas anteriores, la tasa de ocupación de las madrigueras nuevas fue mayor. Los machos de avión zapador construyen madrigueras nuevas para atraer a potenciales parejas (OMNRF, 2017). Esto genera una actividad constructora elevada y un número de madrigueras sobrantes importante. La bibliografía señala una tasa de ocupación media de las madrigueras del 50% (Wright *et al.* 2011 citado en OMNRF 2017) y nosotros encontramos tasas de ocupación incluso inferiores. Esta actividad de excavación podría tener repercusiones en la dinámica geomorfológica de la pared (com. pers. Martín-Duque, 2017). Nosotros

encontramos que la altura del derrumbe en los lugares con madrigueras fue mayor que en los lugares sin madrigueras, lo que podría indicar que el derrumbe aumentó debido a la actividad del propio avión. De esta forma, el avión zapador podría tener un efecto similar al abejaruco, ave también excavadora de madrigueras que influye en la erosión de las paredes donde se asienta a través de la remoción de material y de su debilitamiento (Casas-Crivillé y Valera, 2005).

4.3. Biología reproductiva del zapador en los espacios mineros

La mayoría de las colonias y subcolonias controladas en este estudio llegaron a tener crías y, presumiblemente, también volantones, sugiriendo que, en general, los espacios mineros suministraron hábitats adecuados para la nidificación de esta especie. En algunas subcolonias nuestras observaciones sugieren incluso la existencia de segundas puestas ya que se encontraron madrigueras en fases de reproducción temprana donde en visitas anteriores hubo una pareja en fases más tardías de la reproducción. Sin embargo, aunque otros autores han sugerido también la posible existencia de segundas puestas, no pudimos confirmar esto. Algunos autores sugieren que las segundas puestas podrían ser en realidad puestas de reposición (Hjertaas, 1984; Petersen, 1955).

El desfase temporal entre las parejas reproductoras fue importante, tanto dentro de una misma subcolonia como entre colonias distintas, lo que coincide con lo observado por Hoogland y Sherman (1976). Esta falta de sincronización entre las parejas, existiendo parejas adelantadas y parejas retrasadas, es importante y debe ser tomada en cuenta al establecer los periodos de monitoreo y protección de las colonias en el plan de gestión de los zapadores.

La duración del periodo reproductor abarcó desde principios de abril a finales de agosto. La fenología obtenida a partir de la placa incubatriz de las hembras adultas fue coherente con la de las observaciones del comportamiento de los adultos, pero con un rango temporal más estrecho, probablemente debido a que se analizaron menos individuos a través de las capturas. En conjunto, lo observado fue consistente con lo señalado para la Península Ibérica por Etxezarreta, (2010) respecto al periodo de volantones (de mayo a julio y después disminuye progresivamente) y con Cramp (1988), citado en Etxezarreta (2010), respecto al periodo reproductor completo (de la primera quincena de abril hasta mediados de agosto). El número de subcolonias con fracasos reproductores no ligados a perturbaciones humanas en las parejas más

retrasadas fue elevado. Esto hace pensar en un éxito reproductor menor de los individuos más retrasados (Hjertaas, 1984).

El periodo reproductor es más tardío en latitudes más septentrionales, como ocurre respecto a Orense (González y Villarino, 1997) y Suiza (Bachmann *et al.*, 2008); y como OMNRF (2017) señala que ocurre en distintas zonas de Ontario, Canadá. Se sabe que la llegada de esta especie experimenta un adelantamiento relacionado con el calentamiento del clima, que además es de distinta magnitud que en otras especies (Hubálek, 2003; Sparks *et al.*, 2007). Todo esto hace importante considerar periodos reproductores conservadores y contrastados con datos locales en esta y otras especies, especialmente considerando que se espera una creciente variabilidad interanual de las temperaturas de verano en Europa en el futuro (Seneviratne *et al.*, 2006).

En este estudio hemos detectado muy pocos casos de afección a subcolonias en los espacios mineros por parte de la actividad minera. En todos los casos se trató de acciones involuntarias en subcolonias que no estaban señalizadas ni acotadas. Estos incidentes pudieron tener consecuencias sobre el éxito reproductor y la supervivencia de los aviones zapadores afectados. Este tipo de situaciones, de no controlarse, pueden influir en las poblaciones de esta especie, especialmente teniendo en cuenta que los espacios mineros agrupan a las principales colonias de la CAM. Por ello, es de agradecer el esfuerzo del grupo LafargeHolcim para establecer protocolos de gestión de los zapadores en los espacios mineros que prevengan este tipo de situaciones.

4.4. Gestión del avión zapador en los espacios mineros: Protocolo de gestión

El objetivo de este protocolo es favorecer la presencia del avión zapador en los espacios mineros y promover una gestión que asegure su estancia exitosa a la vez que se desarrolla la actividad industrial. Se tratará de dirigir la actividad de los zapadores hacia zonas de menor actividad extractiva del espacio minero y evitar la colonización de las zonas mineras más activas.

Estas recomendaciones están dirigidas a gestores de espacios mineros. Se basa en un calendario anual, a partir del cual se podrán integrar las diferentes actuaciones propuestas dentro del Plan de Labores. Además, se promoverá la divulgación dirigida a operarios de la cantera o gravera para que conozcan la importancia de los objetivos de conservación, el significado de las restricciones y lograr actuaciones coordinadas. El protocolo está organizado en medidas de divulgación, medidas preparatorias y medidas de protección.

Las actuaciones seguirán la cronología expresada en la Tabla 7.

Tabla 7. Calendario de actuaciones.

Periodo	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Medidas	Explotación normal				Medidas preparatorias y divulgación	Explotación normal monitorizando presencia de madrigueras de avión zapador					Explotación normal y reporting	

4.4.1. Medidas de divulgación

Periodo: Febrero. Medidas de divulgación

- Al inicio de las medidas preparatorias, informar al personal de la explotación de las actuaciones que se llevarán a cabo. Además, sensibilizar acerca de la importancia de proteger y conservar esta especie.
- Informar a los operarios de la localización de las medidas preparatorias para evitar que se produzcan afecciones involuntarias tanto sobre las actuaciones realizadas como sobre las colonias.

Periodo: 1 al 15 de marzo

- Señalar y acotar las áreas delimitadas para aviones zapadores, incluidas las de futuras colonias que puedan establecerse en la explotación.
- Informar de la señalización para que todo el personal pueda interpretar correctamente el significado de las señalizaciones dirigidas a acotar los espacios con presencia de zapadores.

Periodo: Abril-agosto

- Revisar que la señalización y acotado esté siempre en condiciones óptimas durante todo el periodo de estancia de los zapadores (hasta finales de agosto).

Periodo: Septiembre

- Informar de la presencia, ubicación de los aviones zapadores y aportar información fotográfica de las colonias al departamento de medio ambiente de la empresa a nivel regional y nacional.
- Informar de la lista de medidas realizadas para el fomento y protección de aviones zapadores y de las lecciones aprendidas de estas medidas (cuáles fueron exitosas y cuáles no; dificultades encontradas y retos superados; etc.).
- Informar de la lista de medidas que se pretende realizar al año siguiente basadas en las experiencias y resultados del año anterior.

4.4.2. Medidas preparatorias

Establecer medidas de conservación de los zapadores en enero, de acuerdo con el Plan de Labores anual. Implementar las medidas de conservación en febrero, antes de la llegada de los zapadores a la Península.

Frentes y acopios activos: disuadir la colonización por el avión zapador.

Periodo: Septiembre a febrero

Explotación normal.

Periodo: 1 de febrero a 15 de marzo

Explotación normal, monitorizando los frentes activos para detectar cuanto antes la presencia de aviones zapadores.

Si se detectan madrigueras y aviones zapadores, inmediatamente disminuir la pendiente de los frentes y acopios con menos de 60° de inclinación para evitar el inicio de las excavaciones por parte de los zapadores (Figura 12 y 13).

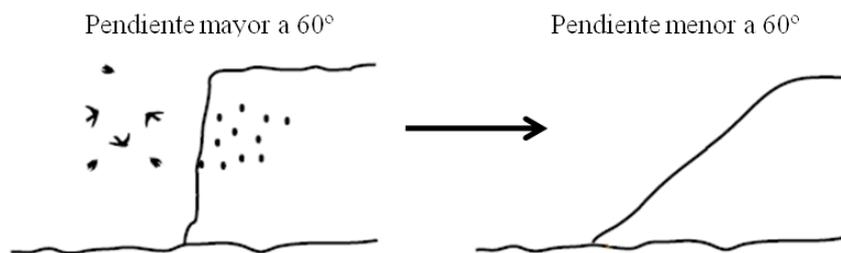


Figura 12. Esquema de pendientes verticales propicias para aviones zapadores, y pendientes tendidas para evitar colonización de aviones zapadores. Fuente: Government of Canada (2017).

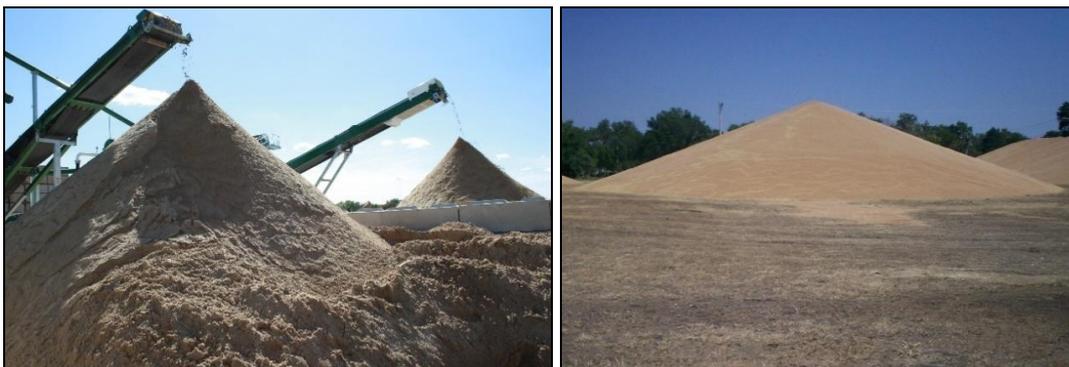


Figura 13. Acopios activos sin paredes verticales. Acopio activo con baja pendiente. Ambos acopios disuadirían a aviones zapadores de instalar colonias en ellos. Fuente. Flickr Commons.

La extracción con pendientes menores de 60° y monitorización de zonas activas no ocupadas por el avión zapador se mantendrá hasta mediados de julio, momento en el que las aves ya no inician la puesta de los huevos.

Frentes y acopios inactivos: promover la colonización por el avión zapador

Preparación de frentes inactivos durante primavera-verano para que puedan ser utilizados por los aviones zapadores:

Selección de la ubicación:

- Tanto en frentes de explotación inactivos como en acopios inactivos (Figura 14).
- Lejos de actividad minera y de caminos frecuentemente transitados por maquinaria pesada y personas.
- Material compacto, pero formado por arena excavable por los aviones zapadores.
 - Acopios de arena no lavada de 0-6 mm.
 - Taludes con contenido de arenas y finos y poco contenido de grava.
- Cercanía a superficies de agua para que puedan ser utilizadas como zonas de alimentación por los zapadores, como charcas de agua limpia, con producción de insectos.

- Orientar la superficie vertical a espacios sin obstáculos en 20-50 metros (edificaciones, árboles altos), para permitir la fácil entrada y salida de las aves.



Figura 14. Colonias de avión zapador localizadas en acopio (izq) y talud (dcha) inactivos. Fuente propia.

Preparación:

- Preparar una pared vertical. Dimensiones:
 - Acopios: 4-6 m de altura y mínimo 4 m de largo.
 - Taludes: 4-6 m de altura y mínimo 20 m de largo.
- Pendiente lo más vertical posible, mayor de 60°.
- En las partes verticales nuevas, hacer unos pequeños agujeros manualmente de 5 cm de profundidad y separados al menos 20 cm entre sí, para atraer a los aviones zapadores (Figura 15).
- Retirar vegetación de la pared y de los 10 m en frente de la zona vertical.
- Realizar las mismas actuaciones de preparación cada dos años.



Figura 15. a) Agujeros de 5 cm de profundidad sobre un acopio para atraer aviones zapadores. b) Detalle de un agujero de 5x5 cm de entrada. Fuente propia.

Mantenimiento de frentes utilizados en años anteriores por aviones zapadores:

- Refrescar la verticalidad del talud cortando los primeros 50 cm en aquellas partes que se estime necesario.
- No eliminar todas las madrigueras preexistentes para que actúen como elementos de atracción de los aviones zapadores.
- Retirar derrumbes.
- Aumentar si es posible la superficie vertical disponible.
- Retirar vegetación leñosa del talud y en un área de 10 metros en frente del talud.
- Preparar señalización para el acotamiento del área.
- Realizar la preparación de los frentes cada dos años.
- Realizar labores de señalización, acotamiento y divulgación todos los años.

No se proponen en este protocolo estructuras duraderas (cemento, madera...) por ser actuaciones costosas, no siempre exitosas, que además deberían ser gestionadas por especialistas.

4.4.3. Medidas protectoras

Frentes y acopios activos no colonizados por avión zapador

Periodo: 15 marzo a 15 julio

Explotación monitorizando los frentes activos.

- Si se detecta la presencia de madrigueras nuevas de avión zapador, inmediatamente disminuir la pendiente de los frentes y acopios a menos de 60° de inclinación.
- En caso de establecimiento de colonia (es decir, a partir de que existe riesgo de que algunas parejas hayan empezado ya el periodo de incubación, lo cual suele producirse a una semana de construirse la madriguera), suspender actuaciones y avisar al consultor ambiental/técnico de medio ambiente de la explotación para determinar si se puede continuar con la operación normal.
- En caso de suspensión de actuaciones, seguir las mismas medidas de protección para la colonia que las descritas a continuación para los frentes inactivos hasta final de agosto.

Frentes y acopios inactivos colonizados por avión zapador

Periodo: 15 marzo a 30 agosto

- Evitar actividad minera permanente a 20-50 m alrededor de las colonias.
- Señalizar y acotar la presencia de colonias mediante cinta de policía o barreras físicas (Figura 16).
- Informar de la presencia y ubicación de colonias a los empleados de la explotación. Sensibilizar de la importancia de proteger estas colonias.
- Monitorizar periódicamente:
 - El estado de los frentes sobre los que se sitúa la colonia
 - El estado de las señalizaciones y el acotamiento.
 - En frentes inactivos no colonizados: monitorizar y continuar el mantenimiento óptimo de los taludes hasta mediados de julio para intentar atraer a los aviones zapadores.



Figura 16. Barrera para la protección de colonias de avión zapador. Fuente: Bachmann *et al.* (2008).

4.4.4. Gestión de otros espacios diferentes a los lugares de nidificación

El establecimiento y el éxito de colonias de avión zapador puede estar influido por la gestión del área circundante a los lugares de nidificación, que provee el resto de requerimientos que necesitan las aves.

Alimentación

Los aviones zapadores durante la temporada de cría normalmente se alimentan de pequeños insectos aéreos en hábitats abiertos como pastizales, herbazales, charcas y humedales.

- Situar las colonias en lugares cercanos a láminas de agua abierta.

- Se recomienda potenciar áreas abiertas de herbazal en espacios cercanos o dentro de la explotación si es posible.
- Promover la creación de charcas someras, que tengan alta producción de insectos.
- Mantener las charcas que aparezcan naturalmente durante la época de cría.
- Evitar actividad minera en las charcas cercanas a las colonias ocupadas.
- Evitar el uso de insecticidas y herbicidas en los potenciales lugares de alimentación.

Lugares para dormir

Los individuos adultos dejan de dormir dentro de las colonias cuando los pollos comienzan a desarrollarse. Los adultos duermen en “dormideros” comunales localizados normalmente en humedales, principalmente entre mayo y agosto.

- Promover las plantaciones de carrizos en las láminas de agua mayores (humedales).
- Mantener la vegetación de ribera existente en el espacio minero.
- Evitar el uso de insecticidas y herbicidas en los potenciales dormideros.

4.4.5. Restauración

Los resultados de nuestro estudio sugieren que la recreación de hábitats rupícolas para el avión zapador es una opción que debería tenerse en cuenta también en los Planes de Restauración de los espacios mineros. Esta opción tiene todavía más sentido si el espacio minero ha sido colonizado por el avión zapador durante la vida útil de la explotación. Conservar estas colonias promovería tanto al avión zapador como a otras especies (usuarios secundarios) que colonizan las madrigueras generadas por él.

Las actuaciones que habría que realizar para favorecer el hábitat rupícola del avión zapador durante la fase de Restauración serían semejantes a las descritas en los apartados anteriores de este protocolo referidas a la vida activa de la mina, aunque con una visión a largo plazo. En este caso, los ambientes rupícolas de las colonias se gestionarían de manera integrada con otros tipos de hábitats abiertos, tanto acuáticos y terrestres, que suministrarían hábitats de alimentación y descanso a los aviones. Este mosaico de hábitats contribuiría a promocionar la biodiversidad local porque favorecerían a muchas otras especies.

5. Conclusiones

1. El avión zapador utiliza los espacios mineros como importantes hábitats de reproducción y esto se ha acrecentado en las últimas décadas.
2. Abordar la gestión de los aviones zapadores en los espacios mineros es crucial. Para ello, es fundamental un protocolo de gestión basado en un conocimiento científico riguroso y en las mejores prácticas conocidas actualmente y adaptado al comportamiento de la especie a nivel regional.
3. La gestión del avión zapador en zonas mineras, tanto activas como en la fase de restauración, supone todo un desafío. Esto es debido al alto número de madrigueras por colonia, la baja ocupación de madrigueras, la dinámica interanual de las colonias, la baja sincronización fenológica por colonia, la variedad de ambientes colonizados en áreas mineras (taludes, escombreras, y acopios) y el hecho de que es una especie protegida. El plan de gestión requerirá decisiones a largo, medio y corto plazo, incorporando información anual y a escala local.
4. Sería deseable que, de forma urgente, se creara una mesa de trabajo que incluyera a la Administración Minera, Administración de Medio Ambiente y Empresas del sector para diseñar pautas en los Planes de Labores Mineros que tengan como objetivo recuperar esta especie y lograr sacarla de su estatus de amenaza.
5. Incluir a los aviones zapadores en Planes de Restauración es una opción que debería considerarse, sobre todo en espacios mineros colonizados con anterioridad por el avión zapador. Estos Planes de Restauración deberán incluir la gestión integral de todo el espacio minero, combinando la creación de diferentes tipos de hábitat que cubran todos los requerimientos de la especie. Este mosaico de hábitats contribuirá a promocionar la biodiversidad local a través de la promoción de una especie protegida, el avión zapador, pero también de muchas otras.

6. Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mis directores Salvador Rebollo y Zoë Rohrer por haberme dado la oportunidad de hacer este TFM; por haber aportado todo los medios, trabajo, dedicación e interés para hacerlo posible.

Agradezco a la Universidad de Alcalá de Henares y su Departamento de Ciencias de la Vida, a la Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas y al grupo LafargeHolcim por haber apoyado este trabajo. En este sentido, quiero dar las gracias también al Máster y a su director José María Rey; así como a Raúl Pérez, Pilar Gegúndez y Laura Martínez de LafargeHolcim.

Doy las gracias también a Manuel Andrés-Moreno del Grupo de Anilladores Aegithalos, que ideó y dirigió las capturas de individuos y también aportó el material necesario para ellas. Aportó su opinión experta y ayudó activamente también en la búsqueda de colonias naturales, en los desplazamientos y en el planeamiento de las salidas. Los aros autoportantes con red japonesa fueron elaborados y desarrollados por los anilladores Eloy Gómez y Manuel Andrés-Moreno en el periodo 2012-2017. Por su colaboración y búsqueda de colonias naturales, también doy las gracias a Carlos Talabante, al Grupo de Anillamiento Aegithalos y al personal de la Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife) y del Parque Regional del Sureste.

Asimismo, quiero dar las gracias a mi compañero Carlos Rodríguez, que ha trabajado junto a mí todos estos meses y al que debo su colaboración y compañerismo; su ayuda en aspectos como el transporte para las salidas o materiales necesarios para ellas; y su gran papel en la recogida de buena parte de la información de campo necesaria, como por ejemplo la gran mayoría de las fotografías utilizadas. También agradezco a los doctores y doctorandos y el resto compañeros del Departamento de Ciencias de la Vida por su ayuda en la resolución de dudas y por su paciencia: a Verónica Cruz, Enrique Andivia, Alejandro Leverkus, Jaime Madrigal, Joaquín Calatayud y Elena Velado por su ayuda con la estadística; Lorenzo Pérez, Pablo Quiles y Daniel Gómez por su ayuda en la preparación de los muestreos de campo; y a Navila Monteagudo y al resto del Departamento de Ciencia de la Vida.

Por último, quiero agradecer a mi familia y amigos por su interés y por su impecable labor en darme ánimos en todos aquellos momentos en los que pude necesitarlos.

7. Bibliografía

- AEMET e IM (2011). *Atlas Climático Ibérico*. 1ª ed. Agencia Estatal de Meteorología de España e Instituto de Meteorología de Portugal.
- Bachmann, S., Haller, B., Lötscher, R., Rehsteiner, U., Spaar, R. y Vogel, C. (2008). *Guide de promotion de l'hirondelle de rivage en Suisse. Conseils pratiques pour la gestion des colonies dans les carrières et la construction de parois de nidification*. Uttigen: Fondation Paysage et Gravier; Berne: Association Suisse de l'industrie des Graviers et du Béton; Cudrefin: Association Suisse pour la Protection des Oiseaux ASPO/BirdLife Suisse; Sempach: Station ornithologique suisse.
- Baeza, D. (2013). El estado ecológico de la cuenca del Tajo. En: B. Larraz y A. Cano, eds., *El río Tajo, lecciones del pasado para un futuro mejor*. Las Ventas con Peña Aguilera, Toledo: Ledoria, pp.79-90.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. y Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1).
- BirdLife International (2004). *Birds in the European Union: a status assessment*. Wageningen, Países Bajos: BirdLife International, pp.38-39.
- BirdLife International (2015). *Riparia riparia (Sand Martin)*. *European Red List of Birds*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- BirdLife International (2016). *Riparia riparia*. [en línea] The IUCN Red List of Threatened Species 2016. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org/details/103815961/0> [Accedido 20 ago. 2017].
- Bradshaw, A. (1996). Underlying principles of restoration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(S1), pp.3-9.

- Burnham, K. y Anderson, D. (2002). *Model selection and multi-model inference*. 2ª ed. New York: Springer.
- Calavia, D. y García, M. (2017). *UNStat4Excel*. Pamplona, España: Universidad de Navarra. Disponible en: <https://www.unav.edu/departamento/bioquimica-genetica/unstat-es> [Accedido 20 sept. 2017].
- Casas-Crivillé, A. y Valera, F. (2005). The European bee-eater (*Merops apiaster*) as an ecosystem engineer in arid environments. *Journal of Arid Environments*, 60, pp.227-238.
- Castillo, I., Elorriaga, J., Zuberogitia, I., Azkona, A., Hidalgo, S., Astorkia, L., Iraeta, A. y Ruiz, F. (2008). Importancia de las canteras sobre las aves rupícolas y problemas derivados de su gestión. *Ardeola*, 1, pp.103-110.
- Climate-data.org (s.f.). *Datos climáticos mundiales*. [en línea] Es.climate-data.org. Disponible en: <https://es.climate-data.org/> [Accedido 31 agt. 2017].
- COSEWIC (2013). *COSEWIC assessment and status report on the bank swallow, Riparia riparia, in Canada*. Ottawa: Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada.
- Cramp, S. (1988). *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. Volume V: Tyrant Flycatchers to Thruses*. Oxford: Oxford University Press, p.246.
- Datosclima.es (s.f.). *Base de datos Meteorológica* [en línea]. Disponible en: <http://datosclima.es> [Accedido 9 oct. 2017].
- Etxezarreta, J. (2010). Distribución y situación actual del avión zapador (*Riparia riparia*) en la Vertiente Cantábrica del País Vasco. *Munibe*, 58, pp.149-171.
- Falconer, C., Mitchell, G., Taylor, P. y Tozer, D. (2016). Prevalence of Disjunct Roosting in Nesting Bank Swallows (*Riparia riparia*). *The Wilson Journal of Ornithology*, 128(2), pp.429-434.

- García, J. y Álvarez, E. (2000). Expansión altitudinal del avión zapador *Riparia riparia* en las Cordillera Cantábrica. *Ardeola*, 47(2), pp.247-250.
- García, J. y Fuertes, B. (2010). Dispersión reproductiva del Avión Zapador *Riparia riparia* tras la desaparición de sus colonias en un tramo del río Esla (cuena del río Duero, noroeste de España). *Revista Catalana d'Ornitologia*, 26, pp.31-37.
- Garrison, B. (1998). Bank Swallow (*Riparia riparia*). En: *The Riparian Bird Conservation Plan: a strategy for reversing the decline of riparian-associated birds in California*. California Partners in Flight.
- Generalitat Valenciana (2016). *Censo de colonias y parejas reproductoras de avión zapador en la Comunitat Valenciana*. Generalitat Valenciana. Servicio de Vida Silvestre.
- Ghent, A. (2001). Importance of a Low Talus in Location of Bank Swallow (*Riparia riparia*) Colonies. *The American Midland Naturalist*, 146(2), pp.447-449.
- Government of Canada (2017). *Bank swallow (Riparia riparia) in sandpits and quarries*. [en línea] Canada.ca. Disponible en: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/migratory-bird-conservation/publications/bank-swallow-riparia-sandpits-quarries.html> [Accedido 15 oct. 2017].
- González, S. y Villarino, A. (1997). Nidotopica y situación actual del avión zapador *Riparia riparia* (L. 1758), en la provincia de Ourense (NO España). *Ardeola*, 44(1), pp.41-49.
- Hammer, Ø., Harper, D. y Ryan, P. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1), p.9.
- Heneberg, P. (2001). Size of sand grains as a significant factor affecting the nesting of bank swallows (*Riparia riparia*). *Biologia, Bratislava*, 56(2), pp.205-210.

- Heneberg, P. (2007). Sand martin (*Riparia riparia*) in the Czech Republic at the turn of the millenium. *Linzer biol. Beitr.*, 39(1), pp.293-312.
- Heneberg, P. (2009). Soil penetrability as a key factor affecting the nesting of burrowing birds. *Ecological Research*, 24(2), pp.453-459.
- Heneberg, P. (2012). Flagship bird species habitat management supports the presence of ground-nesting aculeate hymenopterans. *Journal of Insect Conservation*, 16(6), pp.899-908.
- Herrera, J. y Pla, F. (2006). *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas.
- Hjertaas, D. (1984). *Colony site selection in bank swallows*. Tesis de máster. The University of Saskatchewan.
- Hoogland, J. y Sherman, P. (1976). Advantages and Disadvantages of Bank Swallow (*Riparia riparia*). *Coloniality. Ecological Monographs*, 46(1), pp.33-58.
- Hubálek, Z. (2003). Spring migration of birds in relation to North Atlantic Oscillation. *Folia Zool.*, 52(3), pp.287–298.
- IGME. (s.f.; Última revisión: marzo 2015). *Servicios Mapas IGME*. [en línea] Mapas.igme.es. Disponible en: <http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx> [Accedido 7 sep. 2017].
- IGNa (s.f.). *Cartografía ráster*. [en línea] Idee.es. Disponible en: <http://www.idee.es/web/guest/directorio-de-servicios> [Accedido 29 sept. 2017].
- IGNb (s.f.). *Centro de Descargas del CNIG*. [en línea] Centro de Descargas del CNIG. Disponible en: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Accedido 30 ago. 2017].
- INULA (2015). *Biodiversity management in quarries and gravel pits*. 1ª ed. Rademacher, M, ed.

- IKT, S.A. (2008). Censo y estado de conservación de las poblaciones nidificantes de avión zapador *Riparia riparia* en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Temporada 2007. Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental.
- Jones, G. (1986). Selection against large size in the Sand Martin *Riparia riparia* during a dramatic population crash. *Ibis*, 129, pp.274-280.
- Kirk, D., Lindsay, K. y Brook, R. (2011). Risk of Agricultural Practices and Habitat Change to Farmland Birds. *Avian Conservation and Ecology*, 6(1).
- Krausman, P. (1999). Some Basic Principles of Habitat Use. En: K. Launchbaugh, K. Sanders and J. Mosley, eds., *Grazing Behaviour of Livestock and Wildlife*. Moscow: University of Idaho, pp.85-90.
- Llobet, T. y Estrada, J. (2004). *Atles dels ocells nidificants de Catalunya 1999-2002*. Bellaterra (Barcelona): Lynx Ed.
- Lonchamp, F. y Michelat, D. (2015). *La nidification de l'hirondelle de rivage dans les environs de Pontarlier*. LPO Franche-Comté.
- Maas, S. y Paul, J. (2013). Enquête Hirondelle de rivage 2012 – Bilan en Franche-Comté. LPO Franche-Comté, DREAL Franche-Comté, Conseil Régional & Union européenne.
- Malo de Molina y Martínez, J. (2003). Avión Zapador *Riparia riparia*. En: R. Martí y J. Moral, eds., *Atlas de las Aves Reproductoras de España*. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología, pp.380-381.
- Mazerolle, M. (2017). *AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c)*. R package version 2.1-1. [en línea] Cran.r-project.org. Disponible en: <https://cran.r-project.org/package=AICcmodavg> [Accedido 10 oct. 2017].

- McRae, S. (1986). Opportunities for creative reclamation following sand and gravel extraction. In: J. Harper y B. Plass, ed., *New Horizons for mined Land Reclamation*. Princeton, West Virginia: Proc. Nat. Meet. Amer. Soc. for Surface Mining and Reclamation, pp.51-53.
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (s.f.). *Estadística Minera de España 2015*. Madrid: Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.
- Moffatt, K., Crone, E., Holl, K., Schlorff, R. y Garrison, B. (2005). Importance of Hydrologic and Landscape Heterogeneity for Restoring Bank Swallow (*Riparia riparia*) Colonies along the Sacramento River, California. *Restoration Ecology*, 13(2), pp.391-402.
- Monteagudo, N. (2017). *Gestión de depredadores en la mejora de hábitats para la fauna en canteras: el caso del búho real (Bubo bubo)*. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Alcalá.
- Moore, N., Kelly, P., Lang, F., Lynch, J. y Langton, S. (1997). The Peregrine Falco peregrinus in quarries: current status and factors influencing occupancy in the Republic of Ireland. *Bird Study*, 44, pp.176-181.
- Munné, A., Prat, N., Solà, C., Bonada, N. y Rieradevall, M. (2003). *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 13, pp.147-163.
- Nomecalles (s.f.). *Nomecalles - Nomenclator y Callejero de la Comunidad de Madrid*. [en línea] Madrid.org. Disponible en: <http://www.madrid.org/nomecalles/Inicio.icm> [Accedido 18 agt. 2017].
- OMNRF (2017). *Best Management Practices for the Protection, Creation and Maintenance of Bank Swallow Habitat in Ontario*. Queen's Printer for Ontario.
- Petersen, A. (1955). The breeding cycle in the bank swallow. *The Wilson Bulletin*, 67(4), pp.235-286.

- QGIS Development Team (2016). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation. Disponible en: <http://qgis.osgeo.org> [Accedido feb. 2017].
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistica computing*. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponible en: <https://www.r-project.org/> [Accedido 20 sept. 2017].
- Rebollo, S. (1988). *Algunos aspectos de la Biología del Avión común en el periodo reproductor*. Tesis de Licenciatura. Universidad de León.
- Redfern, C. (2010). Brood-patch development and female body mass in passerines. *Ringing & Migration*, 25(1), pp.33-41.
- Rohrer-Rodríguez, Z. (2015). *Mejora de hábitats para avifauna rupícola en canteras: ¿Creando hábitats fuente o trampas ecológicas?* Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Alcalá.
- Ruiz de Azua, N., Fernández, J., Bea, A. y Carreras, J. (2006). Situación de la población nidificante de avión zapador (*Riparia riparia*) en Álava. En: *Encuentro de Ornitología en Álava*. Vitoria-Gasteiz: Diputación Foral de Álava, pp.57-66.
- Sáez-Royuela, R. (1954). Notas sobre el Avión Zapador, *Riparia riparia* (L.), en la Península Ibérica. *Munibe*, 6, pp.253-262.
- SCV (1999). *Situación actual del avión zapador (Riparia riparia) en la Comunidad de Madrid*. En De la Puente, J., Bermejo, A. & Seoane, J. eds.: Anuario Ornitológico de Madrid 1998, pp. 72-77. SEO-Monticola. Madrid.
- SCV (2007). *Censo de avión zapador (Riparia riparia) en la Comunidad de Madrid (2007)*. Inédito. Disponible en: <http://scv-conservacion.webcindario.com/avionzapador/zapador2007.html> [Accedido 15 agt. 2017].
- Seneviratne, S., Lüthi, D., Litschi, M. y Schär, C. (2006). Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443(7108), pp.205-209.

- SER (2017). Linking Science and Practice for a Better World. Book of Abstracts. En: *VII World Conference on Ecological Restoration*. Foz de Iguassu: SER.
- SERI Science & Policy Working Group (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- SEO (1994). *Atlas de las aves nidificantes de la Comunidad de Madrid*. Madrid: Agencia de Medio Ambiente, p.121.
- Sparks, T., Huber, K., Bland, R., Crick, H., Croxton, P., Flood, J., Loxton, R., Mason, C., Newnham, J. y Tryjanowski, P. (2007). How consistent are trends in arrival (and departure) dates of migrant birds in the UK? *Journal of Ornithology*, 148(4), pp.503-511.
- Suárez, M., Vidal-Abarca, M., Sánchez-Montoya, M., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Jáimez-Cuéllar, P., Munné, A., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Salinas, M., Toro, M. y Vivas, S. (2002). Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnetica*, 21(3-4), pp.135-148.
- Szép, T. y Møller, A. (2000). Exposure to ectoparasites increases within-brood variability in size and body mass in the sand martin. *Oecologia*, 125(2), pp.201-207.
- Urquiaga, R. (2013). El río Jarama: un afluente al que tributa el río Tajo. En: B. Larraz y A. Cano, ed., *El río Tajo, lecciones del pasado para un futuro mejor*. Las Ventas con Peña Aguilera, Toledo: Ledoria, pp.91-121.

8. Anexos

Anexo 1 Terminología utilizada

Tipo de espacio minero. Definiciones tomadas de Herrera y Pla (2006)

- Cantera: Explotación de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción donde los materiales beneficiables se extraen de un macizo rocoso.
- Gravera: Explotación de áridos naturales granulares (arenas y gravas) en ámbitos fluviales.

Tipo de estructura. Definiciones propias.

- Estructura: utilizado para el acopio, talud o escombrera donde existen madrigueras de avión zapador.
- Acopio o stock: Acumulación al aire libre de materiales extraídos para la venta. (Figura Ia)
- Talud: superficie de gran pendiente producto de la erosión de ríos, lagos, etc. o de la explotación minera sobre un material preexistente o (Figura Ib)
- Escombrera: Acumulación al aire libre de materiales no aptos para la venta. (Figura Ic)

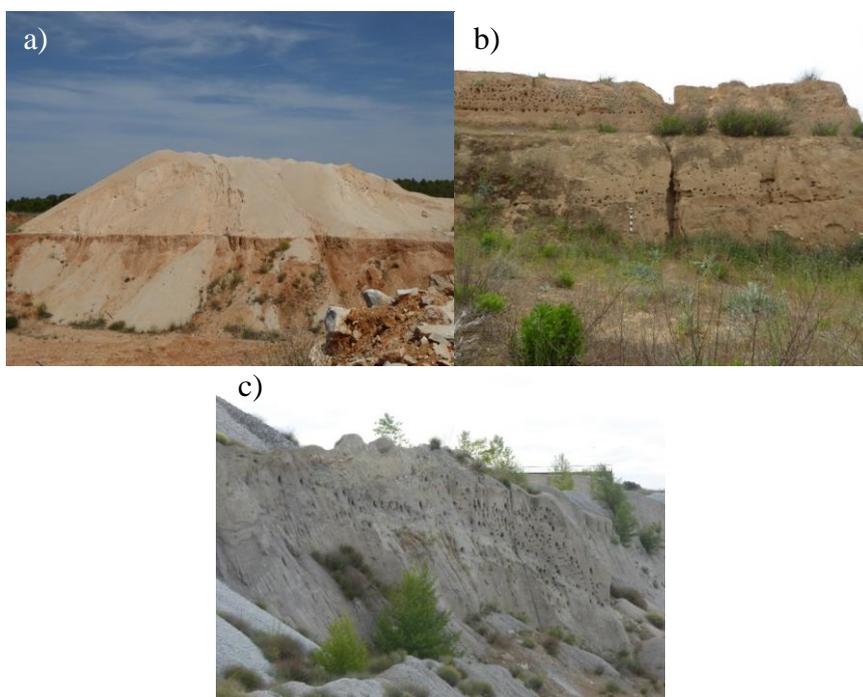


Figura I. Fotografías tomadas de un acopio (a), un talud (b) y una escombrera (c). Fuente propia.

Otras

- Pared: superficie de gran pendiente.
- Derrumbe: materiales sueltos situados en la base de una pared y desprendidos de ella.

Anexo 2. Valores de las variables ambientales de los espacios mineros

Tabla I. Valores de las variables ambientales estudiadas para hallar las preferencias de los aviones zapadores en los espacios mineros a escala de colonia, en cada colonia.

Espacio minero	Tipo espacio minera	Material caliza	Material arena	Material puzolana	Material granito	Material yeso	Material pórfido	Material arcilla	Superficie espacio minero (ha)	Superficie total taludes 2016 (m ²)	Edad explotación en 2016 (años)	Estado actividad minera 2016	Tiempo inactividad minera 2016 (años)	Litología	Precipitación anual media (mm)	Temperatura anual media (C°)	Altitud (m s. n. m.)	Distancia a herbazales (m)	Distancia a zonas húmedas (m)	Distancia a cuerpos de agua (m)	Distancia a ríos (m)	Distancia a cursos de agua (m)	Superficie artificial en 1 km (%)	Superficie de bosque en 1 km (%)	Superficie de matorral en 1 km (%)	Superficie agrícola en 1 km (%)	Superficie de cuerpos de agua en 1 km (%)	Superficie de herbazal en 1 km (%)	Superficie extractiva en 1 km (%)	Abundancia regional a zapadores (parejas)	Presencia de avión zapador
COR	3	0	1	0	0	0	0	0	34,2	19979	10	1	5	4	444	13,5	525	27098	14195	383	40	40	1,3	0,0	9,6	84,1	0,0	0,0	4,9	5554	Sí
CTO	NA	1	0	0	0	0	0	0	84,4	24514	29	1	8	3	441	13,6	720	14897	4986	11575	8324	805	12,6	16,5	0,0	60,7	0,0	9,7	0,5	0	Sí
EMO	2	1	0	0	0	0	0	0	22,9	39808	26	1	6	3	450	13,7	790	17516	26386	17516	6730	252	0,0	24,4	0,0	61,7	0,0	0,0	14,0	0	Sí
EPU	3	0	1	0	0	0	0	0	189,2	18433	29	1	4	3	401	14,9	500	22801	8222	0	0	0	6,3	0,0	0,0	45,2	2,4	31,4	14,7	55	Sí
ESP	2	1	0	0	0	0	0	0	24,3	28994	29	1	7	3	450	13,7	790	17141	26445	17141	7070	89	0,0	28,4	0,0	47,0	0,0	0,0	24,6	0	Sí
LCH	2	1	0	0	0	0	0	0	21,1	4676	13	1	9	3	450	13,7	840	19181	35429	0	9796	355	0,4	0,0	39,7	57,1	0,0	2,7	0,0	5554	Sí
LPO	2	0	0	0	1	0	0	0	29,6	30684	41	1	3	2	524	10,2	830	7460	59714	0	4951	47	17,1	0,0	5,7	0,0	0,0	70,2	7,0	109	Sí
PRE	3	0	1	0	0	0	0	0	24,7	350	36	1	6	4	437	14,1	550	3620	18306	0	180	0	4,9	0,0	6,4	14,1	0,0	58,0	16,5	168,5	Sí
ROM	3	0	1	0	0	0	0	0	100,6	15159	29	2	0	4	415	14,6	520	154	13190	0	110	110	5,7	1,4	1,5	52,9	1,7	9,1	27,7	11058,5	Sí
ALM	2	1	0	0	0	0	0	0	38,7	33512	56	2	0	3	434	17,0	150	0	4682	16079	1650	1650	0,0	0,8	6,0	51,0	0,0	41,3	0,9	10	No
CER	2	1	0	0	0	0	0	0	38,5	17175	56	2	0	3	675	14,5	500	16792	16792	24590	5187	3449	10,3	56,0	28,9	0,0	0,0	0,0	4,7	0	No
DOL	1	0	0	1	0	0	0	0	15,0	6433	29	1	NA	3	437	14,8	650	8442	14405	8442	518	518	0,0	0,0	0,0	63,5	0,0	31,6	4,9	0	No
EBU	2	1	0	0	0	0	0	0	33,4	47239	27	1	2	3	344	18,1	350	11792	24150	11792	6591	6591	0,0	5,2	4,2	23,1	0,0	66,7	0,8	59	No
EMA	2	1	0	0	0	0	0	0	22,6	12775	34	1	11	3	416	12,9	1100	10413	92128	10413	2380	1696	0,0	35,2	18,9	26,6	0,0	15,4	3,9	0	No
FON	2	1	0	0	0	0	0	0	53,3	126144	48	2	0	3	344	18,1	220	8118	8118	13231	12351	12351	8,1	0,0	18,9	9,5	0,0	61,9	1,6	55	No
GAR	2	1	0	0	0	0	0	0	62,9	59368	56	2	0	3	594	16,6	200	11058	11058	20395	14715	11551	3,9	0,5	84,4	0,0	0,0	0,0	11,1	0	No
LSO	2	1	0	0	0	0	0	0	51,5	40773	32	2	0	3	448	14,1	755	14062	22792	14062	12867	12867	0,0	0,0	12,5	59,9	0,0	26,4	1,2	0	No
MON	1	1	0	0	0	0	0	0	41,6	4430	56	2	0	4	612	16,5	150	18050	18050	49624	328	328	52,9	14,3	23,6	0,0	0,0	7,5	1,8	0	No
MOS	1	0	0	0	0	1	0	0	12,5	4811	31	2	0	3	415	14,3	600	22178	11245	13080	3597	1545	0,0	0,0	4,6	63,6	0,0	27,2	4,6	5505	No
OFR	2	1	0	0	0	0	0	0	35,5	43358	42	2	0	3	318	17,8	450	6421	14211	6421	9249	9249	7,6	0,0	7,6	22,1	0,0	59,4	3,3	1	No
OLI	2	1	0	0	0	0	0	0	4,5	9084	26	1	5	3	450	13,7	790	16807	26688	16807	8094	150	0,0	14,0	1,0	54,9	0,0	0,0	30,0	0	No
REM	2	0	0	0	0	0	1	0	9,5	3068	36	1	21	1	524	10,2	1000	2527	65748	0	3498	1060	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	99,4	0,0	109	No
RET	2	1	0	0	0	0	0	0	3,1	6803	41	1	16	3	469	10,3	992	3911	93734	3911	3062	100	0,0	65,2	23,4	11,4	0,0	0,0	0,0	0	No
SCA	1	0	0	1	0	0	0	0	7,0	6915	10	2	0	4	443	14,7	750	6353	11562	6353	7088	3449	0,0	0,0	0,1	69,1	0,0	30,8	0,0	0	No
SLL	1	1	0	0	0	0	0	0	62,9	22318	66	2	0	3	441	17,0	200	6652	6357	7854	1371	1371	2,0	43,2	7,2	42,4	0,0	5,2	0,0	20	No
TER	2	1	0	0	0	0	0	0	5,7	2850	33	1	7	3	474	13,4	870	15162	29317	15162	3129	495	0,0	0,0	5,4	71,1	0,0	23,6	0,0	0	No
VIL	1	0	0	0	0	0	0	1	103,1	3948	66	2	0	3	415	14,3	615	24735	21949	9612	7662	2091	3,7	0,0	10,1	86,0	0,0	0,0	0,2	5515	No
YEP	1	1	0	0	0	0	0	0	523,3	35723	86	2	0	3	441	13,6	700	13654	5315	13654	5102	0	0,2	4,4	10,7	62,8	0,0	16,0	6,0	0	No

Anexo 3. Variables a escala de colonia usadas en el PCA

Tabla II. Variables consideradas para estudiar la preferencia de ocupación de espacios mineros por parte del zapador a escala de colonia. Entre corchetes sus valores al transformarla en variables semicuantitativa o categóricas. Entre comillas las categorías de usos del suelo de Corine Land Cover 2012.

Nombre abreviado	Definición	Nombre abreviado	Definición
tipo.espacio	Tipo de espacio minero: gravera, cantera de áridos o cantera de cemento [3, 2 o 1]	altitud	Altitud del espacio minero (m s. n. m.)
precipitación	Precipitación media anual en una localidad próxima	temperatura	Temperatura media anual en una localidad próxima (C°)
actividad.16	Actividad minera en el espacio minero en 2016: Sí o no [2 o 1]	t.inactividad.16	Tiempo que llevaba inactivo el espacio minero en 2016 (años)
edad.16	Edad del espacio minero en 2016 (años)	sup.espacio.minero.	Superficie del espacio minero (ha)
sup.talud.16	Superficie de taludes en el espacio minero en 2016 (m ²)	arcilla	Si en el espacio minero el mineral extraído era arcilla o no [1 o 0]
arena	Si en el espacio minero el mineral extraído era arena o no [1 o 0]	caliza	Si en el espacio minero el mineral extraído era caliza o no [1 o 0]
granito	Si en el espacio minero el mineral extraído era granito o no [1 o 0]	pórfido	Si en el espacio minero el mineral extraído era pórfido o no [1 o 0]
puzolana	Si en el espacio minero el mineral extraído era puzolana o no [1 o 0]	yeso	Si en el espacio minero el mineral extraído era yeso o no [1 o 0]
litología	Litología superficial de la zona del espacio minero: con arenas presentes [4]; con areniscas o calcarenitas presentes [3]; con rocas graníticas presentes [2]; y con rocas metamórficas presentes [1]	dist.herbazal	Distancia del borde del espacio minero a los usos de suelo de "pastizal" o "pradera natural" (m)
dist.humedal	Distancia del borde del espacio minero a los usos del suelo de "humedales y zonas pantanosas", "turberas", "marismas" y "salinas" (m)	dis.lagos	Distancia del borde del espacio minero a los usos del suelo de "cursos de agua", "láminas de agua", "lagunas costeras" y "estuarios" (m)
dist.río	Distancia del borde del espacio minero al río más cercano	dist.curso.agua	Distancia del borde del espacio minero al río o arroyo más cercano
%artificial.1km	Cobertura de uso de suelo de "superficies artificiales" a 1 km en torno al borde del espacio minero, sin contar las "zonas de extracción minera" (%)	%extracción.1km	Cobertura de uso de suelo de "zonas de extracción minera" a 1 km en torno al borde del espacio minero (%)
%herbazal.1km	Cobertura de uso de suelo de "sistemas agroforestales", "praderas" y "pastizales naturales" a 1 km en torno al borde del espacio minero (%)	%agrícola.1km	Cobertura de uso de suelo de "zonas agrícolas" a 1 km en torno al borde del espacio minero, sin contar las "praderas" ni "sistemas agroforestales" (%)
%matorral.1km	Cobertura de uso de suelo de "vegetación esclerófila" y "matorral boscoso de transición" a 1 km en torno al borde del espacio minero (%)	%bosque.1km	Cobertura de uso de suelo de "bosques" a 1 km en torno al borde de la cantera (%)
%agua.1km	Cobertura de uso de suelo de "cursos de agua" y "láminas de agua" a 1 km en torno al borde del espacio minero (%)	abun.regional	Abundancia regional de la especie en la cuadrícula UTM de 10x10 km en la que se encuentra el espacio minero y en las ocho de alrededor (parejas estimadas)

Anexo 4. Esquema de medidas a escala de subcolonia

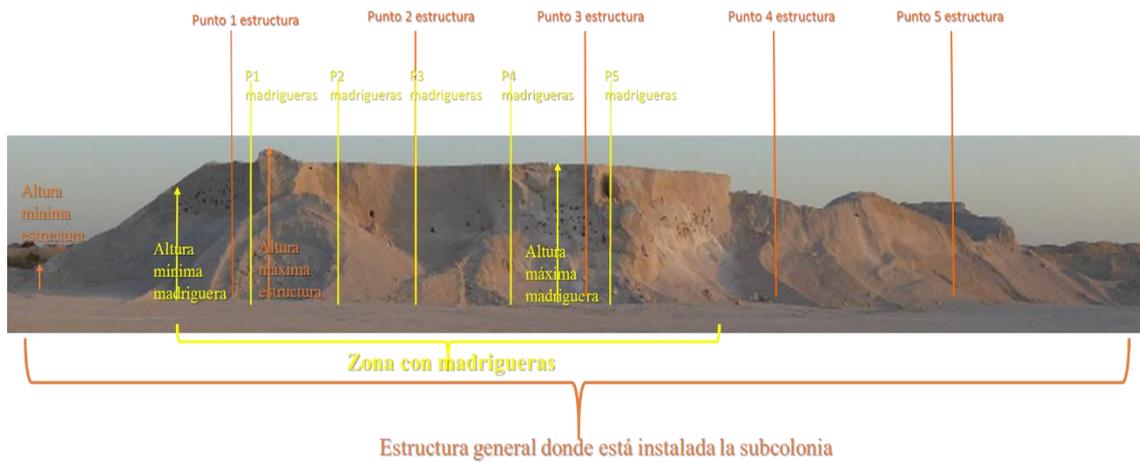


Figura II. Distribución de los puntos de medida de las variables físicas de cada subcolonia tomadas en su “zona con madrigueras” (abreviado como “madriguera”) y en su “estructura general donde está instalada la subcolonia” (abreviado como estructura).

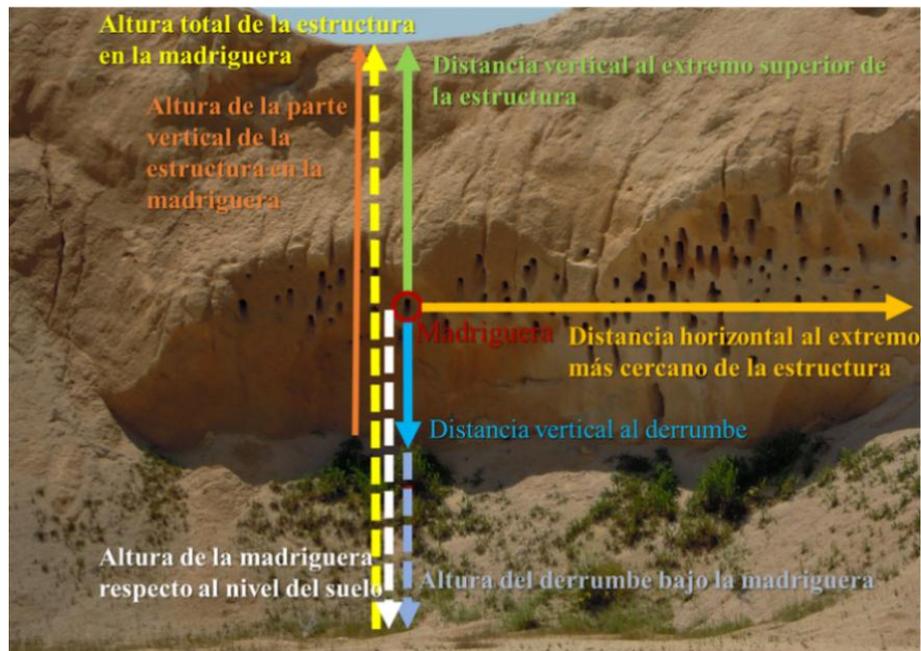


Figura III. Alturas y distancias medidas en QGIS sobre madrigueras y puntos aleatorios de la pared de los acopios.

Anexo 5. Histogramas de los valores de las variables físicas a escala de madriguera

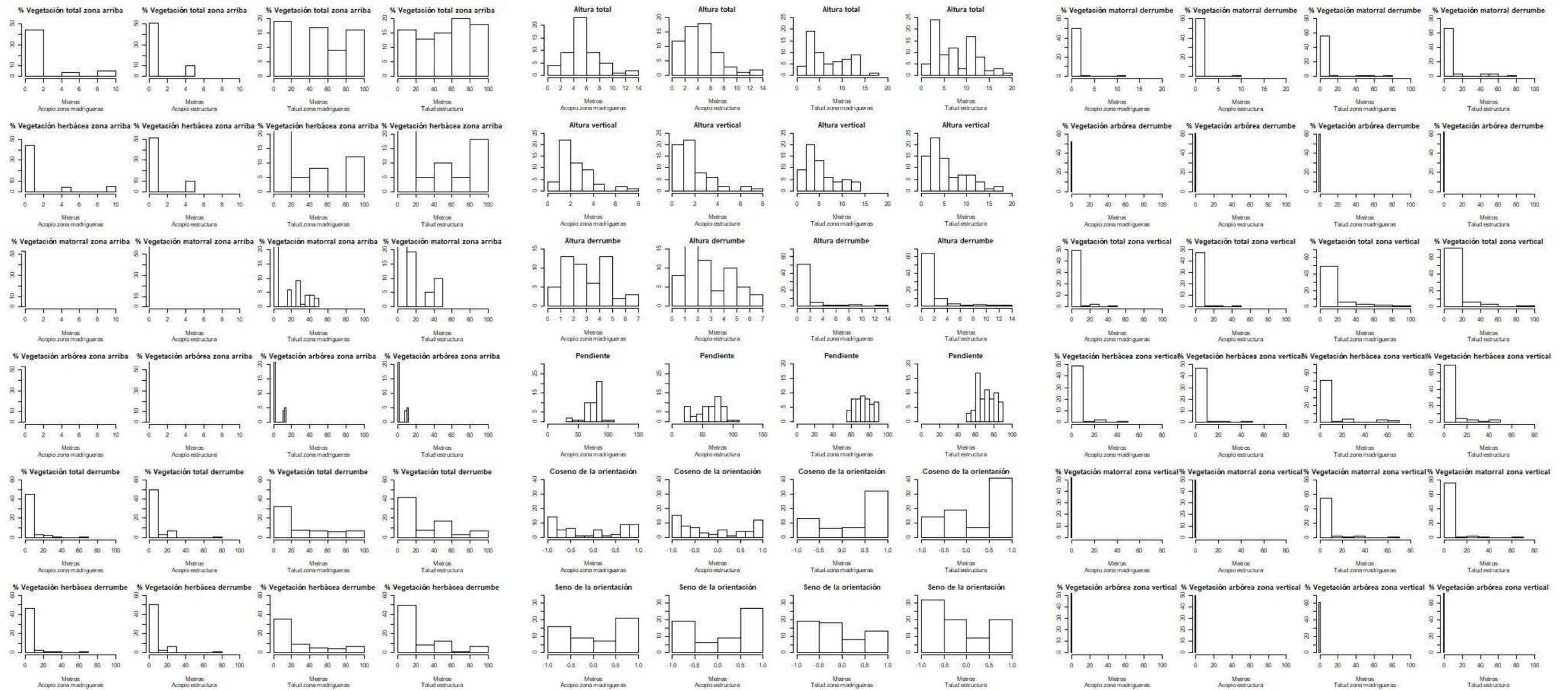


Figura IV. Histogramas de las medidas de las variables físicas tomadas en cada subcolonia en su “zona con madrigueras” (abreviado como “zona madrigueras”) y en su “estructura general donde está instalada la subcolonia” (abreviado como “estructura”).

Anexo 6. Histogramas de las distancias y alturas de madrigueras y puntos aleatorios

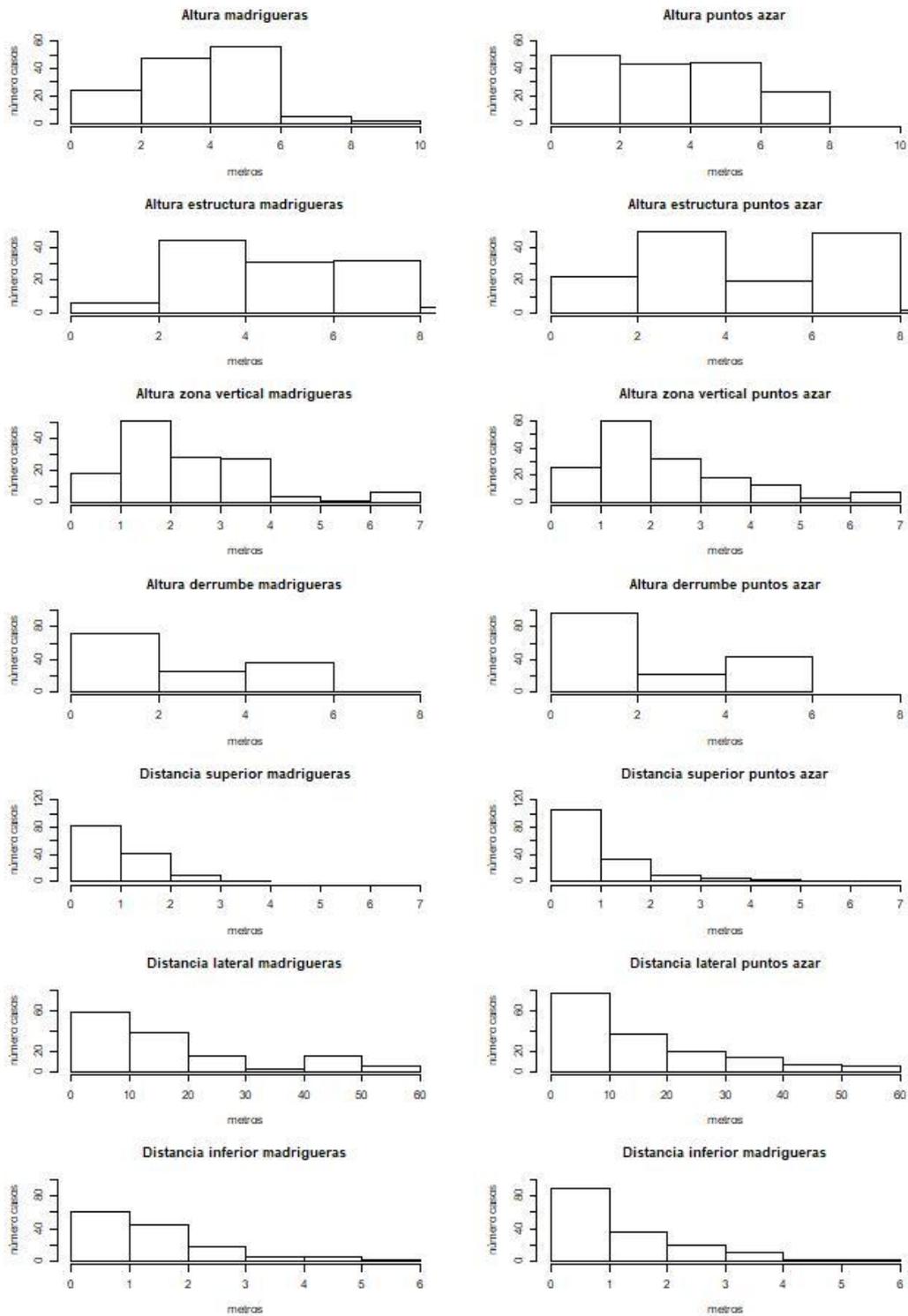


Figura V. Histogramas de las medidas de las distancias de las madrigueras y puntos al azar en 8 acopios y medidas de la propia estructura en las zonas con madrigueras y en puntos al azar.

Anexo 7. Correlación de las variables a escala de colonia

Tabla III. Coeficientes de correlación de Pearson entre las distintas variables ambientales estudiadas para hallar las preferencias de los aviones zapadores en los espacios mineros a escala de colonia.

Coeficiente de correlación de Pearson	Tipo espacio minera	Material caliza	Material arena	Material puzolana	Material granito	Material yeso	Material pórfido	Material arcilla	Superficie espacio minero (ha)	Superficie total taludes 2016 (m ²)	Edad explotación en 2016 (años)	Estado actividad minera 2016 (años)	Tiempo inactividad minera 2016 (años)	Litología	Precipitación anual media (mm)	Temperatura anual media (C°)	Altitud (m s, n, m.)	Distancia a herbazales (m)	Distancia a zonas húmedas (m)	Distancia a cuerpos de agua (m)	Distancia a ríos (m)	Distancia a cursos de agua (m)	Superficie de artificial en 1 km (%)	Superficie de bosque en 1 km (%)	Superficie de matorral en 1 km (%)	Superficie agrícola en 1 km (%)	Superficie de cuerpos de agua en 1 km (%)	Superficie de herbazal en 1 km (%)	Superficie de extractivas en 1 km (%)	Abundancia regional a zapadores (parejas)		
Tipo espacio minera	1																															
Material caliza	-0,134	1																														
Material arena	0,735	-0,548	1																													
Material puzolana	-0,399	-0,372	-0,113	1																												
Material granito	0,035	-0,258	-0,079	-0,053	1																											
Material yeso	-0,277	-0,258	-0,079	-0,053	-0,037	1																										
Material pórfido	0,035	-0,258	-0,079	-0,053	-0,037	-0,037	1																									
Material arcilla	-0,277	-0,258	-0,079	-0,053	-0,037	-0,037	-0,037	1																								
Superficie espacio minero (ha)	-0,144	0,050	0,118	-0,137	-0,058	-0,092	-0,098	0,087	1																							
Superficie total taludes 2016 (m ²)	0,094	0,382	-0,169	-0,189	0,052	-0,146	-0,159	-0,152	0,142	1																						
Edad explotación en 2016 (años)	-0,413	0,284	-0,290	-0,301	0,030	-0,081	-0,026	0,307	0,562	0,218	1																					
Estado actividad minera 2016 (años)	-0,413	0,096	-0,175	0,020	-0,179	0,207	-0,179	0,207	0,267	0,292	0,560	1																				
Tiempo inactividad minera 2016 (años)	0,252	-0,033	-0,025	-0,108	-0,040	-0,150	0,624	-0,150	-0,261	-0,347	-0,331	-0,726	1																			
Litología	0,119	-0,036	0,467	0,200	-0,348	-0,023	-0,672	-0,023	0,025	-0,090	-0,169	0,250	-0,486	1																		
Precipitación anual media (mm)	-0,111	0,082	-0,161	-0,051	0,180	-0,100	0,180	-0,100	-0,087	-0,276	0,244	0,092	0,073	-0,103	1																	
Temperatura anual media (C°)	-0,131	0,309	-0,029	0,043	-0,390	-0,012	-0,390	-0,012	0,035	0,507	0,217	0,535	-0,699	0,403	-0,297	1																
Altitud (m s, n, m.)	0,055	-0,123	-0,136	0,094	0,161	-0,008	0,286	0,003	-0,084	-0,440	-0,396	-0,584	0,697	-0,358	-0,016	-0,843	1															
Distancia a herbazales (m)	-0,076	-0,015	0,058	-0,191	-0,131	0,259	-0,262	0,327	0,121	-0,135	-0,144	-0,127	-0,139	0,149	0,090	-0,025	0,053	1														
Distancia a zonas húmedas (m)	0,105	0,042	-0,203	-0,144	0,282	-0,114	0,331	-0,026	-0,301	-0,264	-0,147	-0,492	0,743	-0,424	0,123	-0,681	0,696	-0,209	1													
Distancia a cuerpos de agua (m)	-0,428	0,529	-0,438	-0,098	-0,208	0,039	-0,208	-0,026	-0,002	0,112	0,374	0,365	-0,343	0,203	0,487	0,363	-0,384	0,241	-0,219	1												
Distancia a ríos (m)	-0,142	0,442	-0,508	-0,094	-0,012	-0,075	-0,080	0,115	-0,030	0,574	0,028	0,238	-0,177	-0,214	-0,047	0,204	-0,007	0,102	-0,106	0,133	1											
Distancia a cursos de agua (m)	-0,018	0,320	-0,263	-0,042	-0,124	-0,050	-0,074	-0,024	-0,089	0,722	0,127	0,481	-0,382	-0,052	-0,146	0,529	-0,369	-0,133	-0,204	0,152	0,736	1										
Superficie de artificial en 1 km (%)	-0,151	0,069	-0,015	-0,133	0,230	-0,092	-0,081	-0,023	-0,017	-0,023	0,244	0,213	-0,221	0,215	0,445	0,158	-0,380	0,101	-0,096	0,617	-0,159	-0,056	1									
Superficie de bosque en 1 km (%)	-0,089	0,449	-0,241	-0,169	-0,117	-0,117	-0,117	-0,117	-0,131	-0,133	0,197	-0,091	0,274	-0,021	0,333	-0,208	0,178	-0,056	0,423	0,218	-0,139	-0,204	0,023	1								
Superficie de matorral en 1 km (%)	-0,007	0,348	-0,177	-0,191	-0,069	-0,080	-0,133	-0,019	-0,011	0,243	0,265	0,262	-0,101	0,042	0,477	0,169	-0,261	0,057	0,063	0,274	0,458	0,436	0,139	0,108	1							
Superficie agrícola en 1 km (%)	-0,151	-0,195	0,125	0,260	-0,287	0,161	-0,287	0,319	0,183	-0,265	-0,280	-0,026	-0,177	0,306	-0,408	-0,022	0,193	0,439	-0,357	-0,202	-0,071	-0,271	-0,434	-0,286	-0,408	1						
Superficie de cuerpos de agua en 1 km (%)	0,492	-0,367	0,670	-0,076	-0,053	-0,053	-0,053	-0,053	0,261	-0,074	-0,147	-0,026	-0,091	0,159	-0,171	0,046	-0,107	0,036	-0,173	-0,296	-0,343	-0,176	0,030	-0,158	-0,178	0,077	1					
Superficie de herbazal en 1 km (%)	0,121	-0,306	-0,002	0,067	0,325	0,017	0,535	-0,177	-0,105	0,232	-0,047	-0,099	0,164	-0,477	-0,275	0,017	-0,019	-0,491	0,117	-0,331	-0,031	0,237	-0,017	-0,453	-0,301	-0,412	-0,027	1				
Superficie de extractivas en 1 km (%)	0,450	-0,125	0,444	-0,134	0,008	-0,045	-0,148	-0,144	0,050	-0,054	-0,190	-0,189	-0,060	0,215	-0,015	-0,074	0,052	0,021	-0,123	-0,046	-0,085	-0,240	-0,088	-0,016	-0,135	0,040	0,429	-0,239	1			
Abundancia regional a zapadores (parejas)	0,205	-0,442	0,454	-0,124	-0,078	0,306	-0,078	0,307	0,012	-0,230	-0,220	0,172	-0,142	0,313	-0,165	-0,057	-0,013	0,188	-0,127	-0,316	-0,179	-0,209	-0,090	-0,261	-0,018	0,401	0,349	-0,263	0,217	1		