

# Preferencia de hábitat del murciélago hortelano meridional *Eptesicus isabellinus* (Temminck, 1840) en ambientes mediterráneos semiáridos

F. Lisón, Á. Haz & J. F. Calvo

Lisón, F., Haz, A. & Calvo, J. F., 2014. Preferencia de hábitat del murciélago hortelano meridional *Eptesicus isabellinus* (Temminck, 1840) en ambientes mediterráneos semiáridos. *Animal Biodiversity and Conservation*, 37.1: 59–67.

## Abstract

*Habitat preference of the meridional serotine bat Eptesicus isabellinus (Temminck, 1840) in semiarid Mediterranean landscapes.*— Several molecular studies have recently reported the presence of a second species of the genus *Eptesicus* in the Iberian peninsula, the meridional serotine bat, *E. isabellinus*. This species is present in the south of Iberia and it seems to have an allopatric distribution with its twin species, *E. serotinus*. Ecological studies are now needed to understand the biology of *E. isabellinus* in southeast Spain. In this study, we used presence-only data for *E. isabellinus* to perform an ecological niche factor analysis (ENFA) and to create a habitat suitability map (HSM). Our results show that the species has a low marginality index, suggesting it is well adapted to the semiarid conditions of the study area. The main habitats used by *E. isabellinus* are water courses, scrublands, and zones with high primary productivity. The species avoids non-irrigated cropland and shows no preference for human settlements or irrigated cropland. This study provides information about the ecology of *E. isabellinus* in southeast Spain and allows us to discuss relevant aspects for its conservation.

Key words: Chiroptera, Conservation, Cryptic species, Distribution, ENFA.

## Resumen

*Preferencia de hábitat del murciélago hortelano meridional Eptesicus isabellinus (Temminck, 1840) en ambientes mediterráneos semiáridos.*— Diversos estudios moleculares han revelado recientemente la existencia de una segunda especie del género *Eptesicus* en la península ibérica: el murciélago hortelano meridional *E. isabellinus*. Dicha especie se encuentra en el sur de la península y parece tener una distribución alopátrica con su especie gemela *E. serotinus*. Debido a la reciente separación entre ambas, es necesario realizar estudios que amplíen el conocimiento sobre la ecología de *E. isabellinus*. En este trabajo se han empleado datos sobre la presencia de la especie en la Región de Murcia (SE de España) para elaborar modelos de nicho ecológico (MNE) y el correspondiente mapa de idoneidad de hábitat. Los resultados revelan que la especie tiene un índice de marginalidad bajo, lo que sugiere una buena adaptación a las condiciones ambientales semiáridas de la zona de estudio. El principal hábitat utilizado por la especie son los cursos de agua, las zonas de matorral y, en general, los ecosistemas con una elevada productividad. Por el contrario, la especie parece evitar las zonas agrícolas de secano y no muestra especial preferencia por las zonas más humanizadas ni los cultivos de regadío. La información proporcionada por este estudio contribuye al conocimiento de la ecología de *E. isabellinus* y los resultados del modelo de distribución permiten discutir sobre los aspectos importantes para su conservación.

Palabras clave: Chiroptera, Conservación, Especies crípticas, Distribución, MNE.

Received: 18 XII 13; Conditional acceptance: 26 III 14; Final acceptance: 25 IV 14

Fulgencio Lisón & José F. Calvo, Depto. de Ecología e Hidrología, Univ. de Murcia, Campus de Espinardo, 30100 Murcia, España (Spain).— Ángeles Haz, Paseo Rosales 10, 4º D, Molina de Segura, 30500 Murcia, España (Spain).

Corresponding author: Fulgencio Lisón. E-mail: lison@um.es

## Introducción

El género *Eptesicus* Rafinesque, 1820 (Chiroptera, Vespertilionidae) se encuentra distribuido por zonas tropicales y templadas de todos los continentes (excepto la Antártida), y parece estar formado por una serie de grupos evolutivos que presentan una compleja consideración taxonómica (Juste et al., 2013). En la península ibérica se ha confirmado mediante análisis moleculares la existencia de dos especies del género *Eptesicus* (Ibáñez et al., 2006; Juste et al., 2009, 2013) que parecen tener una distribución alopatrica, aunque en el norte de Portugal se ha detectado la presencia conjunta de ambas especies (Barros, 2011) y es probable que exista una zona de contacto en Sierra Morena (Santos et al., en prensa). El murciélago hortelano común *E. serotinus* (Schreber, 1774) aparece distribuido por la zona septentrional de la península y el resto de Europa, mientras que el murciélago hortelano meridional *E. isabellinus* (Temminck, 1840) aparece en la mitad sur de la península y el norte de África (García-Mudarra et al., 2009; Ibáñez et al., 2013). A pesar de que ambas especies son abundantes y suelen aparecer ligadas a hábitats antrópicos (Cabrera, 1914; Balcells, 1963; Ibáñez, 2007; Flaquer et al., 2010), los cambios ambientales de los últimos decenios (urbanización, transformación de usos del suelo, proliferación de plaguicidas, etc.) podrían afectar negativamente a sus poblaciones (Ibáñez, 2007; Lisón et al., 2010).

La separación entre ambas especies y la nueva condición de *E. isabellinus* como especie nueva de la península ibérica, hacen necesaria la ampliación de conocimientos sobre la biología y ecología de esta especie. Además, *E. isabellinus*, junto con *E. serotinus*, es el reservorio natural del virus de la rabia EBLV-1 (Vázquez-Morón et al., 2008) y, por tanto, la información sobre su posible distribución es importante desde el punto de vista epidemiológico. El objetivo de este estudio consiste en elaborar modelos de nicho ecológico de la especie utilizando los datos de presencia en una región mediterránea de carácter principalmente semiárido. De esta forma, se pretende: 1) determinar cuáles son las variables ambientales de importancia para la distribución de la especie; 2) elaborar el correspondiente mapa de idoneidad del hábitat y 3) discutir las necesidades de conservación de la especie.

## Material y métodos

### Especie estudiada

El murciélago hortelano meridional *E. isabellinus* tiene una talla grande (longitud del antebrazo: 46–55 mm) y con un peso de entre 17 y 28 g, es uno de los murciélagos más grandes de la península ibérica. El pelaje tiene una característica tonalidad amarillenta pálida en la zona dorsal y mucho más blanquecina en la zona ventral. Las partes desprovistas de pelo tienen una tonalidad muy oscura y las orejas son redondeadas y con un trago arriñonado. La especie utiliza como refugios naturales las fisuras de las rocas

y los huecos de los árboles, aunque también se ha adaptado a las construcciones humanas. Los hábitats de caza son diversos y caza a unos 5–15 m del suelo. Se alimenta de una amplia variedad de insectos con una gran proporción de coleópteros, lepidópteros y dípteros (Ibáñez, 2007). Aunque tiene una vasta distribución, se ha observado que las poblaciones tienen una elevada variación genética, lo que se traduce en diferentes grados de diferenciación a escala local y la formación de metapoblaciones, un fenómeno que está motivado principalmente por la acusada filopatría de las hembras (Juste et al., 2009).

### Zona de estudio y trabajo de campo

La Región de Murcia se encuentra localizada en el sureste de la península ibérica y tiene una extensión de 11.314 km<sup>2</sup>, con un rango de altitudes entre 0 y 2.027 m s.n.m. El clima en gran parte de su superficie es de carácter mediterráneo semiárido, con escasas precipitaciones (promedio de 300–350 mm/año) y temperaturas cálidas (media anual de aproximadamente 18°C; Alonso, 2007). El paisaje ha sufrido una substancial modificación antrópica: los bosques están compuestos principalmente por pino carrasco (*Pinus halepensis*) de repoblación y los valles y los cursos de agua se han usado para los cultivos de regadío en huertas tradicionales. Las zonas áridas están ocupadas principalmente por cultivos de secano (cereales, vid, almendros y olivos) y vegetación xerófila. En los últimos decenios, con la expansión de la agricultura intensiva, se han reemplazado los cultivos de secano por cultivos de regadío (principalmente hortalizas y frutales) y se han urbanizado muchas zonas de cultivos tradicionales de huerta (Martínez-Fernández et al., 2000, 2012). Para satisfacer la creciente demanda de recursos hídricos, se han construido cientos de balsas de riego y se han alterado drásticamente los ríos y sus riberas (canalización, pérdida de vegetación de ribera o redistribución de flujos).

La base de datos sobre la distribución de *Eptesicus isabellinus* se elaboró a partir de los muestreos realizados entre 2005 y 2009 en el contexto de un trabajo más amplio sobre la distribución de los quirópteros de la zona de estudio (Lisón et al., 2010). En el trabajo de campo se utilizaron diferentes metodologías: inspección de refugios, trapeo (redes japonesas y trampas en arpa) y empleo de detectores de ultrasonidos. El uso combinado de los datos obtenidos con diferentes procedimientos es una práctica común en estudios de modelos de nicho similares (Sattler et al., 2007; Rebelo & Jones, 2010; Rutishauser et al., 2012; Lisón & Calvo, 2013). El muestreo estaba diseñado para cubrir el mayor rango posible de condiciones ambientales y usos del suelo de la zona de estudio. En total, se analizaron 356 puntos de muestreo, incluidos 76 refugios (16 edificios y 60 cajas para murciélagos), 25 sitios trampeados y 255 puntos de grabación de ultrasonidos (2.550' de grabación). Los puntos de grabación se ubicaban en zonas no urbanizadas y en ausencia de iluminación artificial, para evitar el sesgo producido por su efecto de atracción sobre los insectos. Los individuos capturados fueron

identificados como pertenecientes al género *Eptesicus* usando las claves de identificación de Dietz & Von Helversen (2004). Además, a los individuos capturados se les realizaba una pequeña biopsia en la membrana alar para obtener material genético, que posteriormente se enviaba a la Estación Biológica de Doñana para confirmar la especie (Javier Juste, com. pers.). Todas las muestras enviadas ( $n = 8$ ) pertenecieron a *E. isabellinus*.

#### Análisis de sonido

Las grabaciones de las llamadas de ecolocación de los murciélagos se realizaron entre los años 2005 y 2008 con un detector Tranquility Transect (David J. Bale, UK) acoplado a una grabadora digital (Olympus VN-960PC, Olympus Imaging Corp., Tokyo, Japón; frecuencia de muestreo 22,5 kHz y 16 bits/muestra) y entre 2009 y 2010 con un detector de ultrasonidos Petterson D1000X (Petterson Elektronik, AB, Uppsala, Suecia, frecuencia de muestreo 300 kHz, 2 minutos de grabación y modo automático). Cada punto de escucha tenía una duración de 10 minutos. Las llamadas digitalizadas se analizaron con un programa específico de análisis de sonido (Batsound 4.03, Petterson Elektronik, AB, Uppsala, Suecia, frecuencia de muestreo 44,1 kHz y 16 bits/muestra). La identificación de las llamadas se basó en seis parámetros del pulso de ecolocación, a saber: el tipo de pulso, la frecuencia inicial, la frecuencia final, la frecuencia de máxima energía, la duración del pulso y el intervalo entre pulsos (Ahlén, 1990; Russo & Jones, 2002; Obrist et al., 2004; Papadatou et al., 2008). Las llamadas de ecolocación de *Eptesicus* pueden confundirse con las emitidas por *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817), pero dicha especie no se encuentra en la zona de estudio (Agirre-Mendi, 2007; Lisón et al., 2011).

#### Modelo de nicho ecológico y mapa de idoneidad de hábitat

El mapa de hábitat idóneo se elaboró mediante un análisis factorial del nicho ecológico (Ecological Niche Factor Analysis, ENFA; Hirzel et al., 2002) utilizando el programa BIOMAPPER 4.0 (Hirzel et al., 2008). Este análisis relaciona datos únicamente de presencia de la especie con un conjunto de variables ecogeográficas. Esta técnica minimiza los errores relacionados con las "falsas ausencias", que son inherentes al uso de información de presencia y ausencia (Hirzel & Le Lay, 2008). Los MNE se han concebido como una herramienta para la biología de la conservación y sus análisis se han utilizado en numerosos estudios (p. ej. Sattler et al., 2007; Rutishauser et al., 2012; Lisón & Calvo, 2013; Lisón et al., 2013; Sánchez-Fernández et al., 2013). En el presente trabajo se ha utilizado como sistema de referencia una rejilla UTM de 500 x 500 y se han considerado las tres categorías de descriptores ambientales siguientes:

#### Topográficos

Se han utilizado tres variables cuantitativas continuas (la altitud media, la pendiente media y la pendiente

máxima) que se obtenían a partir del modelo digital del terreno (20 m de resolución; Instituto Geográfico Nacional).

#### Ecológicos

Se ha empleado el índice normalizado diferencial de la vegetación (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) usando imágenes LANDSAT (sensor ETM+) de primavera (1 de marzo de 2000) y verano (26 de julio de 2001). El NDVI es un índice espectral relacionado con la productividad primaria (Tucker & Sellers, 1986) que adquiere valores entre  $-1$  y  $+1$ . Una elevada productividad se corresponde con valores positivos elevados.

#### Usos del suelo

Se han empleado ocho variables de usos del suelo que se habían obtenido en el proyecto CORINE Land Cover 2000 de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Las categorías incluidas eran: bosque, matorral, cultivos de regadío, cultivos de secano, cursos de agua, humedales, usos humanos y zonas mineras.

Las variables de usos del suelo se estimaron con el módulo CircAn de la aplicación BIOMAPPER 4.0 (Hirzel et al., 2008) escogiendo una ventana circular de dos kilómetros de radio para calcular la frecuencia de presencia de cada clase de usos del suelo. Se empleaba este rango de distancia ya que en diferentes estudios de rastreo por radio se ha sugerido que los murciélagos hortelanos tienen una zona de campeo dentro de esta distancia, aunque con algunas variaciones (Dietz et al., 2009), y se califica a la especie como sedentaria (Ibáñez, 2007; Juste et al., 2009; Papadatou et al., 2011). Todas las variables fueron normalizadas con la transformación Box-Cox.

El MNE proporciona un mapa ráster de idoneidad de hábitat, donde cada celda tiene un valor único que se encuentra entre 0 (menos idónea) y 100 (más idónea), en el cual se utilizaron los seis primeros factores del análisis (88,7% de varianza explicada) que se seleccionaron mediante el criterio *broken-stick* proporcionado por BIOMAPPER 4.0 (Hirzel et al., 2008). Posteriormente, el mapa se reclasificó en cuatro clases de idoneidad de hábitat (inadecuado, marginal, idóneo y óptimo), de acuerdo con un criterio de maximización del índice de Boyce B4 (Boyce et al., 2002; Hirzel et al., 2006; Sattler et al., 2007). El índice de Boyce varía entre  $-1$  y  $+1$ . Los valores positivos indican que las predicciones del modelo se ajustan de manera coherente con la distribución de las presencias de la especie. Los valores próximos a 0 indican que el modelo escogido no difiere de uno elegido al azar, mientras que los valores negativos indican un mal ajuste a la distribución de presencias de la especie.

El análisis del MNE proporciona además un índice global de marginalidad y otro de especialización. La marginalidad se define como la diferencia encontrada entre el nicho de la especie y la disponibilidad del hábitat en el zona estudiada, mientras que la especialización se describe como la varianza del hábitat ocupado por los individuos en relación con la varianza total (Hirzel et al., 2002).

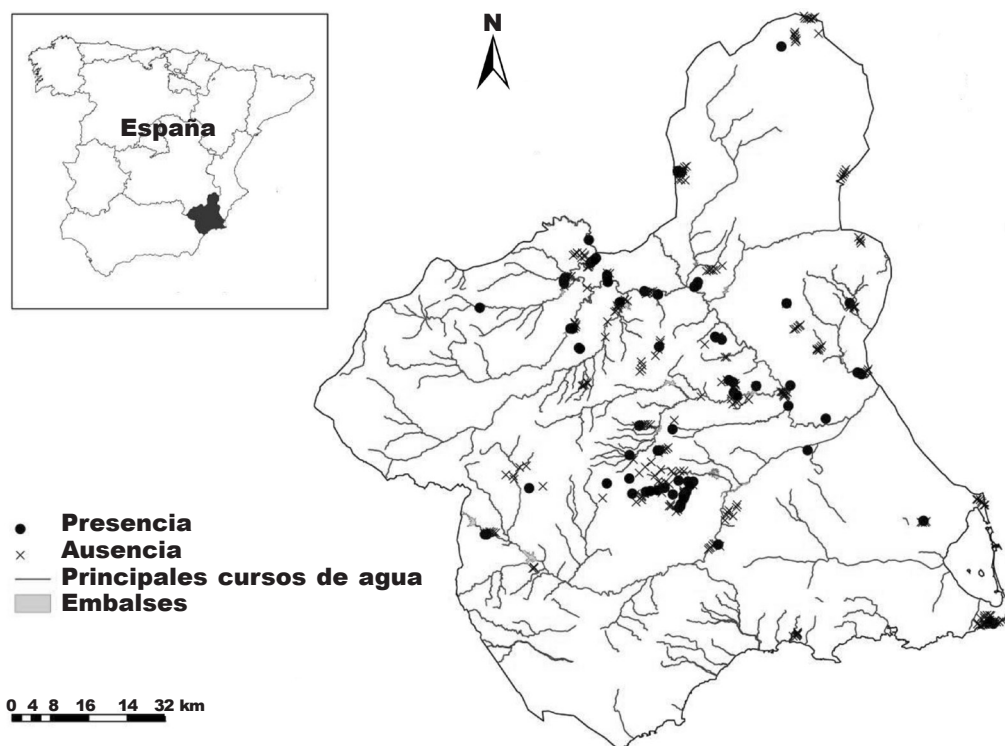


Fig. 1. Mapa de la Región de Murcia donde se muestran los puntos de muestreo con presencia (círculo negro) y ausencia (cruz) de *Eptesicus isabellinus* y la distribución de los principales cursos de agua y de los embalses.

Fig. 1. Map of the Region of Murcia showing the sampling points with presence (black circle) or absence (cross) of *Eptesicus isabellinus*, and the distribution of the main water courses and ponds.

Dado que algunos autores han sugerido que la autocorrelación espacial es una fuente importante de sesgo en los análisis espaciales (Segurado et al., 2006; Veloz, 2009), se ha calculado el índice de Moran para estimar dicha autocorrelación. Los valores de índice de Moran ( $I = 0,678$ ,  $P = 0,1385$ ) encontrados para nuestros datos indican que no existió autocorrelación espacial. Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico R versión 2.15.1 (R Core Team, 2012).

## Resultados

El muestreo de campo proporcionó un total de 86 datos de presencia de *E. isabellinus* en los 356 lugares analizados (fig. 1). El MNE indica que la marginalidad de la especie es baja ( $M = 0,569$ ), aunque el grado de especialización es elevado ( $S = 1,430$ ) y la tolerancia, baja ( $1/S = 0,699$ ), lo que sugiere que los hábitats preferidos por la especie son abundantes en la zona de estudio. La especie muestra gran afinidad por estos hábitats preferidos y hace un uso exclusivo de los mismos a pesar de tener otros hábitats a su disposición. Los resultados del modelo muestran

que la especie tiene una gran afinidad por los cursos de agua (tabla 1), aunque influyen de manera significativa la presencia de zonas con matorral, una elevada productividad durante el verano, así como la pendiente máxima. La presencia de cultivos de secano y la altitud media afectan de manera negativa a la especie. Las actividades humanas, el bosque, los humedales y los cultivos de regadío tienen un impacto positivo moderado.

El mapa de idoneidad de hábitat (fig. 2) presenta un índice de Boyce muy elevado ( $0,863 \pm 0,151$ ), lo que indica que la precisión del modelo es satisfactoria. Los porcentajes de hábitat inadecuado, marginal, adecuado y óptimo son 2,1%, 49,1%, 30,4% y 18,4%, respectivamente. Los valores de las variables ambientales para cada uno de los hábitat tipo (tabla 2) muestran que los hábitats adecuados y óptimos se encuentran en altitudes medias alrededor de los 500 m con una buena pendiente y que están compuestos por un mosaico de zonas de matorral y bosque. También aparece una importante proporción de cultivos de regadío. La distribución de estos hábitats favorables para la especie no se produce a lo largo de los cursos de agua, sino que aparecen concentrados en determinados tramos, especialmente

Tabla 1. Correlación entre los factores del MNE y las variables ecogeográficas empleadas para caracterizar la distribución de *Eptesicus isabellinus* en Murcia. Se muestran los seis primeros factores utilizados para la elaboración del mapa de idoneidad de hábitat. Los porcentajes indican la cantidad de especialización representada por ese factor. Se indica el autovalor de cada factor ( $\lambda$ ). Las variables ambientales están ordenadas en función de su valor de correlación con el primer factor: <sup>a</sup> Factor de marginalidad (explica el 100% de la marginalidad, los valores positivos indican que la especie tiene preferencia por dicha variable y los valores negativos indican lo contrario); <sup>b</sup> Factor de especialización (los valores positivos indican que la especie ocupa un estrecho rango de valores de los disponibles).

Table 1. Correlation between the ENFA factors and ecogeographic variables used to characterize the distribution of *Eptesicus isabellinus* in Murcia. The table shows the first six factors used to create the habitat suitability map. The percentages indicate the quantity of specialization for each factor. The eigen value for each factor is shown ( $\lambda$ ). Environmental variables are shown in function of their correlation with the first factor: <sup>a</sup> Marginality factor (explaining 100% of marginality, positive values indicate that the species has a preference for this variable and negative values indicate the opposite); <sup>b</sup> Specialisation factor (positive values show that the species occupies a narrow range of the studied variable).

	Factor 1 <sup>a</sup> (10.2%) $\lambda_1 = 2.922$	Factor 2 <sup>b</sup> (27.8%) $\lambda_2 = 7.955$	Factor 3 <sup>b</sup> (13.2%) $\lambda_3 = 3.782$	Factor 4 <sup>b</sup> (10.6%) $\lambda_4 = 3.044$	Factor 5 <sup>b</sup> (8.7%) $\lambda_5 = 2.487$	Factor 6 <sup>b</sup> (6.9%) $\lambda_6 = 1.964$
Cursos de agua	0.571	0.189	-0.104	0.117	-0.143	-0.098
Matorral	0.347	0.335	-0.057	-0.015	-0.261	0.270
Pendiente máxima	0.308	-0.161	-0.018	-0.290	-0.335	-0.202
NDVI-Verano	0.307	-0.081	0.572	-0.332	0.293	0.079
NDVI- Primavera	0.246	0.106	-0.420	0.348	-0.024	-0.602
Pendiente media	0.161	-0.010	0.374	0.398	0.380	-0.136
Actividades humanas	0.152	-0.073	0.128	0.032	-0.113	-0.222
Bosque	0.151	0.137	-0.092	-0.200	0.137	0.282
Actividades mineras	0.134	-0.046	-0.036	-0.017	0.102	-0.011
Humedales	0.121	-0.691	-0.201	0.053	-0.036	-0.167
Cultivo de regadío	0.056	0.274	-0.331	-0.492	0.050	-0.237
Altitud media	-0.297	0.015	-0.207	-0.384	-0.674	-0.357
Cultivos de secano	-0.320	0.220	0.268	0.227	0.246	-0.334

en los que hay un embalse. Las zonas próximas a cursos de agua que están muy urbanizadas o tienen un uso agrícola intensivo constituyen un hábitat marginal para la especie. El hábitat inadecuado para la especie está compuesto principalmente por zonas dedicadas al cultivo de secano o de regadío.

## Discusión

Desde hace tiempo se conocen las peculiaridades de los murciélagos hortelanos del sur de la península ibérica (Cabrera, 1914) con respecto a las poblaciones del norte e incluso se llegó a proponer la especie *E. boscai* Cabrera 1914, con holotipo en Muchamiel (Alicante), muy próxima a la zona de estudio (Juste et al., 2013). La principal característica diferencial era la coloración del pelaje (Ibáñez, 2007). Posteriormente,

se consideró que las poblaciones africanas eran una subespecie de *E. serotinus* (Harrison 1963), aunque más tarde volvieron a clasificarse como especie (Benda et al., 2004). Los estudios moleculares realizados en la península revelaron que se encontraban diferencias significativas entre las poblaciones de *Eptesicus* del norte y del sur, y estas últimas se asignaron a *E. isabellinus* (Ibáñez et al., 2006). La presencia de *E. isabellinus* en los territorios peninsulares y su carácter iberoafricano hacen que sea necesario realizar otros estudios que aporten conocimiento sobre su ecología y selección de hábitat.

Los resultados del presente estudio sugieren que la presencia de cursos de agua tiene un fuerte impacto en la distribución de *E. isabellinus*, algo que siempre han destacado los investigadores del género *Eptesicus* en España (Cabrera, 1914; Balcells, 1963; Ibáñez, 2007). La elección de este tipo de hábitat

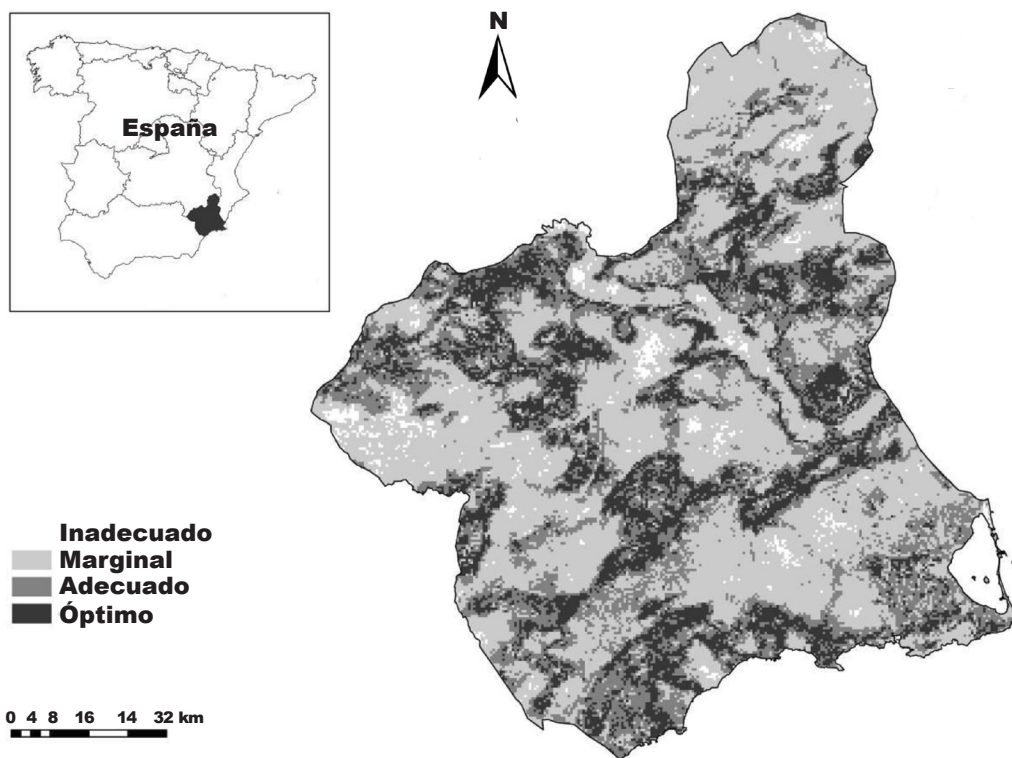


Fig. 2. Mapa de idoneidad de hábitat para la especie *Eptesicus isabellinus* en la Región de Murcia obtenido a partir de los seis primeros factores del análisis factorial de nicho ecológico.

Fig.2. Habitat suitability map for *Eptesicus isabellinus* in the Region of Murcia, obtained from the first six factors in the ecological niche factor analysis.

puede estar motivada por su uso como lugares de caza o bien como marcas del paisaje que conectan diferentes hábitats de caza (Verboom & Huitema, 1997; Ibáñez, 2007; Lisón & Calvo, 2011). Ciertos estudios realizados en la península ibérica han mostrado que la distancia a los cursos de agua es una variable predictora importante para *E. isabellinus* (Santos et al., en prensa). Asimismo, la preferencia por zonas con una elevada pendiente puede estar motivada por el hecho de que la especie utiliza como refugios naturales las grietas de los acantilados (Ibáñez, 2007; Juste et al., 2009). El murciélago hortelano meridional parece evitar las zonas llanas o bajas y se suele encontrar por encima de los 300 metros sobre el nivel del mar (Lisón & Calvo, 2011; Lisón et al., 2011). Los resultados de nuestro modelo muestran que la especie tiene especial preferencia por las zonas en las que pueda encontrar agua y que tengan abundante matorral, mientras que evita los cultivos de secano, algo que también se ha observado en Andalucía (Ibáñez, 2007). Posiblemente, estas zonas de matorral próximas a cursos de agua son zonas ideales donde encuentra una gran variedad de presas que componen su dieta en la zona de estudio (principalmente insectos voladores como

lepidópteros, coleópteros y dermápteros; F. Lisón, datos no publicados). También observamos una cierta preferencia por las zonas con una elevada producción primaria durante el verano, lo que puede estar relacionado con la época de cría de la especie en el sur peninsular (Ibáñez, 2007). En determinados estudios con modelos llevados a cabo en el conjunto de la península ibérica (Santos et al., en prensa) se encontró que la distribución de la especie está íntimamente ligada a la proximidad de plantaciones de eucaliptos. Curiosamente, en la Región de Murcia no existen este tipo de plantaciones y los bosquetes de eucaliptos son de escasas dimensiones o están formados por pies aislados. El estudio de Santos et al. (en prensa) incorporaba pocos datos relativos a nuestra zona de estudio.

Por otro lado, a diferencia del elevado grado de asociación de la especie con las viviendas humanas que señalan diversos autores (Ibáñez, 2007; Dietz et al., 2009; Papadatou et al., 2009), los resultados de nuestro trabajo ponen de manifiesto que la presencia de actividades humanas o de cultivos de regadío no es especialmente importante para *E. isabellinus*. La preferencia de la especie por zonas próximas a cursos de agua, íntimamente ligados a la presencia

Tabla 2. Caracterización ambiental del mapa de idoneidad de hábitat de *E. isabellinus* en la Región de Murcia. Los valores de las variables topográficas y ecológicas representan el valor medio para cada clase. Los valores de las variables de usos del suelo representan el porcentaje de cada uso para cada clase de hábitat.

Table 2. Environmental characterization of the habitat suitability map of *E. isabellinus* in the Region of Murcia. The values for the topographical and ecological variables represent the mean value for each type. The values of the land use variables represent the percentage of use for each type of habitat.

Variable	Óptimo	Adecuado	Marginal	Inadecuado
<b>Topográficas</b>				
Altitud media (m)	542.7	494.8	482.3	629.2
Pendiente media (%)	10.1	7.5	4.6	4.5
Pendiente máxima (%)	12.6	9.9	7.1	6.9
<b>Ecológicas</b>				
NDVI-Primavera	0.10	0.07	0.05	0.06
NDVI-Verano	-0.19	-0.20	-0.24	-0.26
<b>Usos del suelo (%)</b>				
Actividades humanas	2.65	3.35	2.37	0.86
Cultivo de secano	2.78	5.56	23.02	48.43
Cultivo de regadío	20.17	37.88	51.78	38.33
Bosque	22.77	14.98	4.08	1.64
Matorral	51.09	37.57	18.34	9.32
Humedales	0.06	0.24	0.14	1.42
Cursos de agua	0.01	0.02	0.06	0.00
Actividades mineras	0.46	0.40	0.20	0.00

humana, puede haber motivado que de forma indirecta la especie comenzara a utilizar las casas para refugiarse. Sin embargo, se ha observado que *E. isabellinus* abandona las ciudades en bandadas al anochecer para dirigirse a las zonas de caza (Lisón et al., 2011), comportamiento que se ha observado en otras especies del género (Dietz et al., 2009). No obstante, las diferencias encontradas entre nuestros modelos y los datos publicados por otros autores pueden deberse a que se evitó incorporar al modelo datos procedentes de zonas urbanas.

El mapa de idoneidad del hábitat muestra que los hábitats óptimo y adecuado para la especie se encuentran distribuidos a lo largo de toda la zona de estudio en zonas que se encuentran en torno a los principales cursos de agua, especialmente donde se localizan embalses. Los usos del suelo de estos hábitats parecen englobar un mosaico de zonas boscosas y de matorral en las que también aparecen cultivos de regadío de carácter tradicional. Además, muestra que *E. isabellinus* tiene marcadas preferencias por las zonas algo alejadas de los núcleos urbanos o con agricultura intensiva, a pesar de que con frecuencia se le califica como un murciélago antrópico (Ibáñez, 2007; Dietz et al., 2009).

La expansión de las zonas urbanas, la reducción de las zonas agrícolas tradicionales, la pérdida de matorral y el uso intensivo del suelo pueden perjudicar seriamente a sus poblaciones y a la conservación de la especie, además del posible efecto sinérgico que suponen las nuevas construcciones, que no permiten que la especie se refugie en ellas. En la zona de estudio se ha registrado la desaparición de numerosas colonias de cría por cerramientos inadecuados realizados por los propietarios (F. Lisón, datos no publicados). Posiblemente su grado de conservación haya podido pasar desapercibido hasta ahora, debido a su asociación con las construcciones humanas, a su fácil detectabilidad y a su consideración de murciélago urbano. Es necesario realizar estudios más específicos sobre este endemismo ibérico y como medidas de conservación deberían ejecutarse programas de educación ambiental para evitar el cerramiento de los refugios urbanos, potenciar la presencia de refugios artificiales y poner en marcha programas de traslado de las colonias urbanas para evitar problemas zoonóticos. Además, debería estudiarse su función como controlador de plagas y fomentar la reducción del uso de insecticidas inespecíficos.

El uso de los modelos de nicho ecológico se ha revelado como una herramienta útil para ampliar el conocimiento de muchas especies, en especial de los murciélagos (Sattler et al., 2007; Rebelo et al., 2009; Rebelo & Jones, 2010; Lisón & Calvo, 2013; Lisón et al., 2013; Santos et al., en prensa), y es especialmente interesante para analizar la distribución y los requerimientos ambientales de especies crípticas y especies endémicas. El mapa de idoneidad de hábitat elaborado para *E. isabellinus* en la Región de Murcia indica que una gran proporción del territorio representa hábitats favorables para la especie y aumenta el conocimiento sobre los requerimientos ecológicos de la misma.

### Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a Emilio Aledo, a los técnicos de la Dirección General de Patrimonio Natural y Biodiversidad de la Región de Murcia, al personal de la red de Espacios Naturales Protegidos y a los agentes medioambientales, por facilitar el trabajo de campo y la localización de algunos refugios. También agradecemos la colaboración del grupo de voluntariado de Espuña y Calblanque y en concreto de F. Almansa, N. D. Yelo y E. Martínez. Agradecemos la colaboración de J. A. López, F. J. López, S. Jiménez, M. L. Ortega, J. A. Palazón, A. Martínez y C. González. Los análisis de ADN fueron realizados por cortesía de J. Juste (Estación Biológica de Doñana). Gracias a SGS-TECNOS SA por el soporte técnico para la realización de este trabajo, con especial cariño a A. L. del Saz, A. Pérez, G. Romero, R. Cano y A. Borreguero. Agradecemos al Dr. Mario Díaz y al Dr. Javier Juste sus valiosos comentarios, que han mejorado sustancialmente el manuscrito original. Este estudio ha sido financiado en parte por el proyecto 102/08 de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (Fondos FEDER).

### Referencias

- Agirre-Mendi, J., 2007. *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817). In: *Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España*: 222–227 (L. J. Palomo, J. Gisbert & J. C. Blanco, Eds.). Dirección General para la Biodiversidad–SECEM–SECEMU, Madrid.
- Ahlén, I., 1990. *Identification of bats in flight*. Swedish Society Conservation of Nature & the Swedish Youth Association for Environmental Studies and Conservation. Katarina tryck Ab Press, Stockholm.
- Alonso, F., 2007. El clima. In: *Atlas global de la Región de Murcia*: 146–155 (A. Gómez, A. Romero & F. Alonso, Eds.). Murcia, La Verdad–CMM, S. A.
- Balcells, E., 1963. Datos españoles de *Plecotus* y *Eptesicus* (Chir. Vespertilionidae). *Miscelanea Zoológica*, 1: 147–162.
- Barros, P., 2011. Contribución al conocimiento de la distribución de quirópteros en el norte y centro del Portugal. *Barbastella*, 5: 19–31.
- Benda, P., Ruedi, M. & Aulagnier, S., 2004., New data on the distribution of bats (Chiroptera) in Morocco. *Vespertilio*, 8: 13–44.
- Boyce, M. S., Vernier, P. R., Nielsen, S. E. & Schmiegelow, F. K. A., 2002. Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling*, 157: 281–300.
- Cabrera, A., 1914. *Fauna Ibérica. Mamíferos*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Dietz, C. & Von Helversen, O., 2004. *Identification key to the bats of Europe*. Electronical publication, versión 1.0. Distribuido por el autor. Disponible en internet en <<http://www.fledermaus-dietz.de/publications/publications.html>> [Consultado el 15 diciembre 2008]
- Dietz, C., Von Helversen, O. & Nill, D., 2009. *Bats of Britain, Europe & North-west Africa*. A & C Black, London.
- Flaquer, C., Puig, X., Fàbregas, E., Guixé, D., Torre, I., Ràfols, R. G., Páramo, F., Camprodon, J., Cumpido, J. M., Ruíz-Jarillo, R., Baucells, A. L., Freixas, L & Arrizabalaga, A., 2010. Revisión y aportación de datos sobre quirópteros de Catalunya: Propuesta de Lista Roja. *Galemys*, 22: 29–61.
- García-Mudarra, J. L., Juste, J. & Ibáñez, C., 2009. The Straits of Gibraltar: barrier or bridge to the Ibero-Marrocan bats. *Biological Journal of the Linnean Society*, 96: 434–450.
- Harrison, D. L., 1963. Observations on the North African serotine bat, *Eptesicus serotinus isabellinus* (Mammalia: Chiroptera). *Zoologische Mededelingen, Rijksmuseum van Natuurlijke Historie te Leiden*, 38: 207–212.
- Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D. & Perrin, N., 2002. Ecological–niche factor analysis: How to compute habitat–suitability maps without absence data? *Ecology*, 83: 2027–2036.
- Hirzel, A. H., Hausser, J. & Perrin, N., 2008. *Biomapper 4.0*. Laboratory for Conservation Biology, University of Lausanne, Switzerland.
- Hirzel, A. H. & Le Lay, G., 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1372–1381.
- Hirzel, A. H., Le Lay, G., Helfer, V., Randin, C. & Guisan, A., 2006. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. *Ecological Modelling*, 199: 142–152.
- Ibáñez, C., 2007. *Eptesicus serotinus* (Schreber, 1774) / *Eptesicus isabellinus* (Temminck, 1839). En: *Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España*: 237–240 (L. J. Palomo, J. Gisbert & J. C. Blanco, Eds.). Dirección General para la Biodiversidad–SECEM–SECEMU, Madrid.
- Ibáñez, C., García-Mudarra, J. L., Ruedi, M., Stadelmann, B. & Juste, J., 2006. The Iberian contribution to cryptic diversity in European bats. *Acta Chiropterologica*, 8: 277–297.
- Juste, J., Benda, P., García-Mudarra, J. L. & Ibáñez, C., 2013. Phylogeny and systematics of Old World serotine bats (genus *Eptesicus*, Vespertilionidae, Chiroptera): an integrative approach. *Zoologica Scripta*, 42: 441–457.
- Juste, J., Bilgin, R., Muñoz, J. & Ibáñez, C., 2009. Mitochondrial DNA signatures at different spatial



- scales: from the effects of the Strait of Gibraltar to population structure in the meridional serotine bat (*Eptesicus isabellinus*). *Heredity*, 103: 178–187.
- Lisón, F., Aledo, E. & Calvo, J. F., 2011. Los murciélagos (Mammalia: Chiroptera) de la Región de Murcia (SE España): distribución y estado de conservación. *Anales de Biología*, 33: 79–92.
- Lisón, F. & Calvo, J. F., 2011. The significance of water infrastructures for the conservation of bats in a semiarid Mediterranean landscape. *Animal Conservation*, 14: 533–541.
- 2013. Ecological niche modelling of three pipistrelle bat species in semiarid Mediterranean landscapes. *Acta Oecologica*, 47: 68–73.
- Lisón, F., Palazón, J. A. & Calvo, J. F., 2013. Effectiveness of the Natura 2000 Network for the conservation of cave-dwelling bats in a Mediterranean region. *Animal Conservation*, 16: 528–537.
- Lisón, F., Yelo, N. D., Haz, A. & Calvo, J. F., 2010. Contribución al conocimiento de la distribución de la fauna quiropterológica de la Región de Murcia. *Galemys*, 22: 11–28.
- Martínez-Fernández, J., Esteve-Selma, M. A., Baños-González, I., Carreño, F. & Moreno, A., 2012. Sustainability of Mediterranean irrigated agro-landscapes. *Ecological Modelling*, 248: 11–19.
- Martínez-Fernández, J., Esteve-Selma, M. A. & Calvo, J. F., 2000. Environmental and socio-economic interactions in the evolution of traditional irrigated lands: a dynamics system model. *Human Ecology*, 28: 279–299.
- Obrist, M. K., Boesch, R. & Flückiger, P. F., 2004. Variability in echolocation call design of 26 Swiss bat species: consequences, limits and options for automated field identification with a synergetic pattern recognition approach. *Mammalia*, 68: 307–322.
- Papadatou, E., Butlin, R. K. & Altringham, J. D., 2008. Identification of bat species in Greece from their echolocation calls. *Acta Chiropterologica*, 10: 127–134.
- Papadatou, E., Ibáñez, C., Pradel, R., Juste, J. & Gimenez, O., 2011. Assessing survival in a multi-population system: a case study on bat populations. *Oecologia*, 165: 925–933.
- R Core Team, 2012. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Rebelo, H. & Jones, G., 2010. Ground validation of presence-only modelling with rare species: a case study on barbastelles *Barbastella barbastellus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Journal of Applied Ecology*, 47: 410–420.
- Rebelo, H., Tarroso, P. & Jones, G., 2009. Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns. *Global Change Biology*, 16: 561–576.
- Russo, D. & Jones, G., 2002. Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recording of echolocation calls. *Journal of Zoology*, 258: 91–103.
- Rutishauser, M. D., Bontadina, F., Braunisch, V., Ashrafi, S. & Arlettaz, R., 2012. The challenge posed by newly discovered cryptic species: disentangling the environmental niches of long-eared bats. *Diversity and Distribution*, 18: 1107–1119.
- Santos, H., Juste, J., Ibáñez, C., Palmeirim, J. M., Godinho, R., Amorim, F., Alves, P., Costa, H., de Paz, O., Pérez-Suarez, G., Martínez-Alos, S., Jones, G. & Rebelo, H. (en prensa). Influences of ecology and biogeography on shaping the distribution of cryptic species: three bat tales in Iberia. *Biological Journal of the Linnean Society*, Doi: 10.1111/bj.12247.
- Sánchez-Fernández, D., Abellán, P., Picazo, F., Millán, A., Ribera, I. & Lobo, J. M., 2013. Do protected areas represent species' optimal climatic conditions? A test using Iberian water beetles. *Diversity and Distribution*, 19: 1407–1417.
- Sattler, T., Bontadina, F., Hirzel, A. H. & Arlettaz, R., 2007. Ecological niche modelling of two cryptic bat species calls for a reassessment of their conservation status. *Journal of Applied Ecology*, 44: 1188–1199.
- Segurado, P., Araújo, M. B. & Kunin, W. E., 2006. Consequences of spatial autocorrelation for niche-based models. *Journal of Applied Ecology*, 43: 433–444.
- Tucker, C. J. & Sellers, P. J., 1986. Satellite remote-sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1395–1416.
- Vázquez-Morón, S., Juste, J., Ibáñez, C., Ruíz-Villamor, E., Avellón, A., Vera, M. & Echevarría, J. E., 2008. Endemic circulation of European bat lyssavirus type 1 in serotine bats, Spain. *Emerging Infectious Diseases*, 14: 1263–1266.
- Veloz, S. D., 2009. Spatially autocorrelated sampling falsely inflates measures of accuracy for presence-only niche models. *Journal of Biogeography*, 36: 2290–2299.
- Verboom, B. & Huiteima, H., 1997. The importance of linear landscape elements for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine *Eptesicus serotinus*. *Landscape Ecology*, 277: 494–499.