

UNIVERSIDAD DE MURCIA

Departamento de Ecología e Hidrología

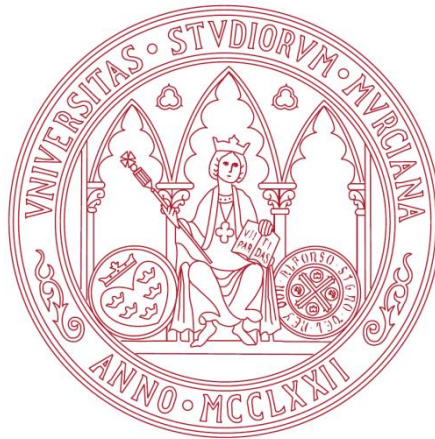
Bat ecology and conservation in semiarid Mediterranean
landscapes

—

Ecología y conservación de murciélagos en ambientes
mediterráneos semiáridos

D. Fulgencio Lisón Gil

2014



PhD Thesis – Tesis Doctoral

Bat ecology and conservation in semiarid Mediterranean
landscapes

—

Ecología y conservación de murciélagos en ambientes
mediterráneos semiáridos

D. Fulgencio Lisón Gil

2014

Departamento de Ecología e Hidrología

UNIVERSIDAD DE MURCIA

Director: Dr. José Francisco Calvo Sendín

Para Ángeles.

El punto de apoyo sobre el que se mueve mi mundo

Table of contents

Introduction.....	2
General summary and conclusions.....	17
Resumen general	23
Papers	
-Sexual size dimorphism in greater mouse-eared bat <i>Myotis myotis</i> (Chiroptera: Vespertilionidae) from a Mediterranean region.....	31
-The significance of water infrastructures for the conservation of bats in a semiarid Mediterranean landscape.....	33
-Ecological niche modelling of three pipistrelle bat species in semiarid Mediterranean landscapes	35
-Effectiveness of the Natura 2000 Network for the conservation of cave- dwelling bats in a Mediterranean region	37
Acknowledgement	40

*Me fui a los bosques porque quería vivir sin prisa.
Quería vivir intensamente y sorberle todo su jugo a la vida.
Abandonar todo lo que no era vida, para no descubrir,
en el momento de mi muerte, que no había vivido.*

H. D. Thoreau

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Annual rainfall of 200-400 mm, a severe summer drought period and high temperatures that exceed 22 °C in summer are characteristic of semiarid climates. Such climates receive the code BS in Köppen's Climate Classification. Among areas of the world in which this type of climate is to be found are the Australian *outback*, the *sertão* of north-eastern Brazil, *Patagonia* in Argentina, the *cuarta región* in Chile and the Mediterranean *matorral* of Spain.

The province of Murcia (Región de Murcia) in the south-east of Spain is largely conditioned by the presence of this type of semiarid climate. Arid and semiarid regions are generally regarded as being environmentally poor and lacking in biological diversity compared with other areas (Durant et al. 2012). However, the effects of environmentally extreme conditions on biodiversity can be studied in such areas (Wark 2009). Since they may present the partial distribution of species that are otherwise widely distributed but which are under strong climatic control, relatively high indices of endemism appearing in local hotspots of biodiversity (Davies et al. 2012; Murphy et al. 2012; Wilson & Pitts 2012; Brito et al. 2013). However, increased human activity and gradually expanding conditions of aridity may have negative effects on such biodiversity (McNeely 2003; Thorton et al. 2008; Trape 2009).

On the other hand, Mediterranean peninsulas (Iberian, Italian, Balkan, Hellenic, Anatolian) are key biogeographic elements connecting European and African flora and fauna (Hewitt 1996, 1999; Taberlet et al. 1998; Dobson & Wright 2000; Agustí & Antón 2002; Jaarola & Searle 2004; Gómez & Lunt 2006; Pinho et al. 2007; Valera et al. 2011; Husemann et al. 2013). In addition, these peninsulas acted as refuges during the last Ice Age and have played an important role in the subsequent spread of different taxonomic groups, making them important elements for Mediterranean fauna, especially bats (Mayer & von Helversen 2001; Juste et al. 2003, 2004, 2013; Ibáñez et al. 2006; García-Mudarra et al. 2009; Furman et al. 2010; Hulva et al. 2010; Rebelo et al. 2012; Bray et al. 2013; Çoraman et al. 2013).

The first bat studies in the province of Murcia were made at the end of the XIX century by Graells (1897). This was followed by papers, restricted to the study of certain caves of the province, that were published very sporadically during the XX century (Cabrera 1904, 1914; Strinati 1953; Valenzuela 1959; Balcells 1963, 1967; Esteve et al. 1986). Finally, at the beginning of the 1990s the first inventory of important bat roosts was drawn up, accompanied by an analysis of species diversity and the state of their populations (Guardiola et al. 1991). Other studies followed, more local in nature and focused on a given group of species (Guardiola & Fernández 1992, 2003a, 2003b, 2004a, 2004b, 2004c; Guardiola 2002, 2003; Guardiola et al. 2004a, 2004b, 2004c,

2004d; Lisón et al. 2005), but which did not provide the information necessary to understand the evolution of bat populations.

More recent systematic studies at regional level combined with different sampling methods (Lisón et al. 2010, 2011), have pointed to the existence of at least 20 species of bat in the province of Murcia, which represents 57.1% of the Spanish total (Palomo et al. 2007) and 47.6% of European species (Dietz et al. 2009). Of special note is the presence of nine threatened species (Annex II Habitat Directive) and cryptospecies like *Myotis escaleraei* Cabrera, 1904 and *Eptesicus isabellinus* (Temminck, 1839). Moreover, these studies have enabled a database of the presence of different species to be made at regional level and have helped complete the *Atlas of Mammals Distribution in Spain* (Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España, Palomo et al. 2007). The first biometric studies have been made (Lisón 2012) as have others on diet, echolocation and genetics (F. Lisón, unpublished data). These studies have made it possible to evaluate the population tendencies of some species, particularly cave-dwelling bats. Thanks to this it has been discovered that the populations of *Rhinolophus mehelyi* Matschie, 1901, *Rhinolophus euryale* Blasius, 1853 and *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817) have fallen by approximately 95%, 85% and 70%, respectively, and the worsening situation of five IUCN category species has been confirmed (Lisón et al. 2011).

The presence of bats has been detected in 45.9% of the 149 UTM 10 x10 km grid cells of the province of Murcia, with some areas being especially rich and diverse in this respect and containing a high number of species (≥ 10). These areas tend to be concentrated around and in areas protected by the Natura 2000 Network. This knowledge of the distribution of bats in the province has also identified important technical deficiencies in the inventories made in order to designate SICs (Sites of Community Importance) zones since we have added a new species from the Annex II of the Habitat Directive to 38.3% the SICs approved, so that in 60% of regional SICs some species from Annex II appear (Lisón et al. 2011). These deficiencies imply the need to evaluate the effectiveness of Natura 2000 Network, since bat species were not taken into account when drawing up the SIC sites.

This doctoral thesis, which is composed of four articles that have been published in international journals, attempts to resolve questions related with the biology, ecology and conservation of bats in semiarid Mediterranean environments, paying special attention to the chiropteran species of the province of Murcia (Región de Murcia). The articles cover a wide variety of themes, ranging from the basic biology of some taxa, the study of habitat use, the assessment of the importance of artificial water bodies for the bat community, the analysis of inter-species interactions and the evaluation of the conservation effectiveness of protected areas. In these papers, a variety of methodological approaches was applied, including ecological niche models using “only-presence” data (Hirzel et al. 2002, 2008), which determines the importance of different ecogeographical variables for the studies species and permit habitat suitability maps(HSM) to be

generated. These models are especially interesting in the case of bats since obtaining “truly absent” data is very complex for these mammals (Sattler et al. 2007; Rebelo & Jones 2010; Becker & Encarnação 2012; Rutishauser et al. 2012; Bellamy et al. 2013; Kusch & Schmitz 2013).

The research effort for this thesis focused on fundamental aspects of bat biology that must be taken into consideration in preliminary studies in areas for which little information exists and where conservation measures need to be applied. These aspects are: 1) morphological aspects, especially those related with biometric measurements, 2) roosts, 3) actual and potential distribution of species, 4) habitat use and preference, 5) effectiveness of conservation measures.

The principal morphological characteristic of bats is the presence of wings, which permit sustained active flight. The wings are formed by the disproportionate growth of the bones of the hand (except the thumb), which are joined by a thin skin named the patagium.

The measurements of the fore limbs have a diagnostic value for identifying species (Dietz et al. 2009), since the length and width have important implications for the aerodynamics of these flying mammals (Findley et al. 1972; Blood & McFarlane 1988; Fenton 1990; Holderied & Jones 2009) and, therefore, in many ecological aspects (Norberg & Rayner 1987; Bogdanowicz et al. 1999; Salsamendi et al. 2005, Dietz et al. 2006, 2009). Moreover, geographical variations have been observed in the same species in this respect (see, for example, Paz 1995; Arlettaz et al. 1997; Albayrak & Coşkun 2000; Bornholdt et al. 2008; Furman et al. 2011) and the existence of sexual dimorphisms may be influenced by environmental conditions during development (Paz 1986; Zahn et al. 2006).

Therefore, biometrical studies of bat populations are considered an essential tool for developing research into their ecology (Bogdanowicz et al. 1999; Salsamendi et al. 2005; Dietz et al. 2006, 2009). Such studies will also help identify isolated populations, establish biogeographical patterns, and know the limitations of mobility in species or sexes and other evolutionary or historical processes (Ruedi & McCracken 2009). The first article that forms the thesis is a biometrical study of the wing measurements of the greater mouse-eared bat *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797) in the province of Murcia, in which sexual dimorphism in these measurements is studied, along with the possible influence of sexual selection in its maintenance.

The second article studies the activity and richness of bat species in the vicinity of a protected natural area through which part of the Tagus-Segura water transfer canal flows and where much agricultural exploitations have been set up each with its corresponding hydraulic infrastructure. The habitat preference of the different species and the role played by these different hydraulic elements are analysed. Despite the general scarcity of water resources in the province of Murcia, the regional economy is based on irrigated agriculture, which has led to the construction of an enormous number of water-related elements (dams, reservoirs, canals, etc.) from Roman times to the present. However, it was the opening of the Tagus-Segura water transfer canal that altered the characteristics of the Segura basin from the 1980s, with the growth in intensive agriculture, the

redistribution of water flows and the construction of numerous irrigation ponds (Martínez-Fernández et al. 2000, 2009; Belmar et al. 2010, 2011).

Bats show a clear affinity for aquatic and humid zones, including those where water availability is not a problem (Ciechanowski 2002; Scott et al. 2010; Boughy et al. 2011). In areas with a semiarid climate, where such resources are scarce, it is important to evaluate the role played by water infrastructure in the activity and richness of bat species (Rebelo & Rainho 2009; Sirami et al. 2013).

The third article uses a “presence data base” to elaborate ecological niche models for three sympatric bat species with very similar biological and ecological characteristics [*Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774), *P. pygmaeus* (Leach, 1825) and *P. kuhlii* (Kuhl, 1817)] in order to ascertain their habitat preferences, inter-species interactions and possible niche segregation phenomena between them. Bats are generally very selective when it comes to occupying a given ecological niche and inter-species interactions are to be expected (Ashrafi et al. 2011; Razgour et al. 2011a; Andreas et al. 2012; Krüger et al. 2012; McConville et al. 2013). Bat wing morphology and the characteristics of echolocation calls condition the type of flight and the degree of prey detectability. Despite being flying animals, most species fly relatively short distances and individual tend to have a small home range close to their refuge (Dietz et al. 2009; Rainho & Palmeirim 2011). For this reason some authors have named them “central-place foragers” (Daniel et al. 2008). Pipistrelles are represented by several species that live in sympatry (Dietz et al. 2009), but whose morphology (wing measurements and echolocation spectra) largely overlap. They have a similar hunting technique, with small home ranges, feed mainly on Diptera and have a preference for humid or aquatic zones.

Starting with a presence data base made by using different methodologies and ecological niche modelling, the fourth article analyses the effectiveness of the Natura 2000 Network for protecting six bat species included in Annex II at two levels: the protection of their roosts of different typologies and the protection of important habitats. We obtain important ecogeographic variables for these species, which is of interest for their conservation. Chiroptera populations have declines since the middle of the XX century, particularly cave-dwelling species. The main reasons for this decline are: 1) disturbance of roosts, 2) habitat disappearance or fragmentation, 3) pesticides, 4) disappearance of prey, 5) urbanisation, 6) climatic change, 7) toxicological effects, 8) human infrastructures and 9) new diseases (Wickramasinghe et al. 2003; Boldogh et al. 2007; Jones et al. 2009; Kerth et al. 2009; Rebelo et al. 2010; Wibbelt et al. 2010, 2013; Berthinussen & Altringham 2011; Fuentes-Montemayor et al. 2011; Bennett & Zurcher 2012; Bilgin et al. 2012; Camina 2012; González et al. 2013).

The Natura 2000 Network represents a great step forward for conservation at European level and, through the Habitat Directive all bat species are protected, with nine species from the province of Murcia featuring in Annex II (Lisón et al. 2011). For species of Annex II LIC sites should

be designated for subsequent inclusion in Red Natura 2000. However, there have been no studies of the effectiveness of this network for protecting bats and, in many cases, the designation of LIC sites has not been based on accurate information regarding the distribution and presence of bats. Most species of Annex II are cave-dwelling and the Directive takes as being of priority interest the natural caves that are mentioned in Annex I.

Basically, the singularity of semiarid Mediterranean climates and the fragility of bat populations at regional, national and world levels (Hutson et al. 2001; Mickleburgh et al. 2002; Palomo et al. 2007; Flaquer et al. 2010; Lisón et al. 2011), their importance for ecosystem maintenance (Jones et al. 2009; Kunz et al. 2011) and for the economy (Boyles et al. 2011) are the arguments that justify the organisation of this thesis, which takes on even more importance considering the scarcity of the information available on bat species in the study area. Moreover, the knowledge gained in these studies is applicable to other places with a similar climate.

Lastly, the species of bat that occur in the Iberian Peninsula show genetic differences from many other European species due scarce genetic exchange (Ibáñez et al. 2006; Razgour et al. 2013), which may well lead to the designation of new taxa. This thesis contributes new information to our knowledge of the ecology of these species.

REFERENCES

- Agustí, J., Antón, M. 2002. Mammoths, Sabertooths and Hominids. 65 million year of Mammalian Evolution in Europe. Columbia University Press, New York.
- Albayrak, I., Coşkun, Ş. 2000. Geographic variations and taxonomic status of *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1819) in Turkey (Chiroptera: Vespertilionidae). Turkey Journal of Zoology, 24: 125-133.
- Andreas, M., Reiter, A., Benda, P. 2012. Dietary composition, resource partitioning and trophic niche overlap in three forest foliage-gleaning bats in Central Europe. Acta Chiropterologica, 14: 335-345.
- Arlettaz, R., Ruedi, M., Ibáñez, C., Palmeirim, J., Hausser, J. 1997. A new perspective on the zoogeography of the sibling mouse-eared bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*: Morphological, genetical and ecological evidence. Journal of Zoology, 242: 45–62.
- Ashrafi, S., Beck, A., Rutishauser, M., Arlettaz, R., Bontadina, F. 2011. Trophic niche partitioning of cryptic species of long-eared bats in Switzerland: implications for conservation. European Journal of Wildlife Research, 57: 843-849.
- Balcells, E. 1963. Datos españoles de *Plecotus* y *Eptesicus* (Chir. Vespertilionidae). Miscelania Zoológica, 1: 147-162.
- Balcells, E. 1967. Murciélagos y nictéridos del Levante español. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural 65: 199-224.
- Becker, N. I., Encarnação, J. A. 2012. Cost-effectiveness of habitat-suitability maps using low-detailed data for elusive bat species. European Journal of Wildlife Research, 58: 945-953.
- Bellamy, C., Scott, C., Altringham, J. 2013. Multiscale, presence-only habitat suitability models: fine-resolution maps for eight bat species. Journal of Applied Ecology, 50: 892-901
- Belmar, Ó., Velasco, J., Martínez-Capel, F. 2011. Hydrological classification of natural flow regimes to support environmental flow assessments in intensively regulated Mediterranean rivers, Segura River Basin (Spain). Environmental Management, 47: 992-1004.
- Belmar, Ó., Velasco, J., Martínez-Capel, F., Marín, A. A. 2010. Natural flow regime, degree of alteration and environmental flows in the Mula stream (Segura River Basin, SE Spain). Limnetica, 29: 353-368.
- Bennett, V. J., Zurcher, A. A. 2012. When corridors collide: Road-related disturbance in commuting bats. The Journal of Wildlife Management, doi. 10.1002/jwmg.467

- Berthinussen, A., Altringham, J. 2011, The effect of a major road on bat activity and diversity. *Journal of Applied Ecology*, doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.02068.x
- Bilgin, R., Keşişoğlu, A., Rebelo, H. 2012. Distribution patterns of bats in the Eastern Mediterranean Region through a climate change perspective. *Acta Chiropterologica*, 14: 425-437.
- Blood, B.R., McFarlane, D. A. 1988. A new method for calculating the wing area of bats. *Mammalia*, 52: 600–603.
- Bogdanowicz, W., Fenton, M. B., Daleszczyk, K. 1999. The relationship between echolocation calls, morphology and diet in insectivorous bats. *Journal of Zoology*, 247: 381–393.
- Boldogh, S., Dobrosi, D., Samu, P. 2007. The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica*, 9: 527-534.
- Bornholdt, R., Oliveira, L. R., Fabián, M. E. 2008. Sexual size dimorphism in *Myotis nigricans* (Schinz, 1821) (Chiroptera: Vespertilionidae) from south Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 68: 897–904.
- Boughey, K. L., Lake, I. R., Haysom, K. A., Dolman, P. M. 2011. Improving the biodiversity benefits of hedgerows: how physical characteristics and the proximity of foraging habitat affect the use of linear features by bats. *Biological Conservation*, 144: 1790-1798.
- Boyles, J. G., Cryan, P. M., McCracken, G. F., Kunz, T. H. 2011. Economic importance of bat in agriculture. *Science* 332: 41-42.
- Bray, T. C., Mohammed, O. B., Alagaili, A. N. 2013. Phylogenetic and demographic insights into Kuhl's pipistrelle, *Pipistrellus kuhlii*, in the Middle East. *Plos ONE*, 8: e57306.
- Brito, J. C., Godinho, R., Martínez-Freiría, F., Pleguezuelos, J. M., Rebelo, H., Santos, X., Vale, C. G., Velo-Antón, G., Boratyński, Z., Carvalho, S. B., Ferreira, S., Gonçalves, D. V., Silva, T. L., Tarroso, P., Campos, J. C., Leite, J. V., Nogueira, J., Álvares, F., Sillero, N., Sow, A. S., Fahd, S., Crochet, P. A., Carranza, S. 2013. Unravelling biodiversity, evolution and threats to conservation in the Sahara-Sahel. *Biological Reviews*, 89: 215-231.
- Cabrera, A. 1904. Ensayo monográfico sobre los quirópteros de España. *Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural* 2: 251-287.
- Cabrera, A. 1914. *Fauna Ibérica. Mamíferos*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Camina, A. 2012. Bat fatalities at wind farms in northern Spain – lessons to be learned. *Acta Chiropterologica*, 14: 205-212.
- Ciechanowski, M. 2002. Community structure and activity of bats (Chiroptera) over different water bodies. *Mammalia Biology*, 67: 276-285.
- Çoraman, E., Furman, A., Karataş, A., Bilgin, R. 2013. Phylogeographic analysis of Anatolian bats highlights the importance of the region for preserving the Chiropteran mitochondrial genetic diversity in the Western Palaearctic. *Conservation Genetic*, doi 10.1007/s10592-013-0509-4

- Daniel, S., Korine, C., Pinshow, B. 2008. Central-place foraging in nursing, arthropod-gleaning bats. *Canadian Journal of Zoology*, 86: 623-626.
- Davies, J., Poulsen, L., Schulte-Herbrüggen, B., Mackinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W. D., Dudley, N., Smith, J., Gudka, M. 2012. *Conserving Dryland Biodiversity*. IUCN, Nairobi, Kenya.
- Dietz, C., Dietz, I., Siemers, B. M. 2006. Wing measurement variations in the five European horseshoe bat species (Chiroptera: Rhinolophidae). *Journal of Mammalogy*, 87: 1241–1251.
- Dietz, C., von Helversen, O., Nill, D. 2009. *Bats of Britain, Europe & Northerwest Africa*. A&C Black, London.
- Dobson, M., Wright, A. 2000. Faunal relationships and zoogeographical affinities of mammals in north-west Africa. *Journal of Biogeography*, 27: 417-424
- Durant, S. M., Pettorelli, N., Bashir, S., Woodroffe, R., Wachter, T., de Ornellas, P., Ransom, C., Adáigar, T., Abdelgadir, M., El Alqamy, H., Beddiaf, M., Belbachir, F., Belbachir-Bazi, A., Berbash, A. A., Beudels-Jamar, R. C., Boitani, L., Breitenmoser, C., Cano, M., Chardonnet, P., Collen, B., Cornforth, W. A., Cuzin, F., Gerngross, P., Haddane, B., Hadjeloum, M., Jacobson, A., Jebali, A., Lamarque, F., Mallon, D., Minkowski, K., Monfort, S., Ndoassal, B., Newby, J. E., Ngakoutou, B. E., Niagate, B., Purchase, G., Samaïla, S., Samna, A. K., Sillero-Zubiri, C., Soutlan, A. E., Price, M. R. S., Baillie, J. E.M. 2012. Forgotten biodiversity in desert ecosystems. *Science* 336, 1379–1380.
- Esteve, M. A., Hernández, V., Martínez, E., Ochotorena, F., Robledano, F., Sánchez, P. A. 1986. Catálogo de los vertebrados (excepto peces) de la Región de Murcia. *Anales de Biología* 7: 57-70.
- Fenton, M. B. 1990. The foraging behaviour and ecology of animal-eating bats. *Canadian Journal of Zoology*, 68: 411–422.
- Findley, J. S., Studier, E. H., Wilson, D. E. 1972. Morphological properties of bat wings. *Journal of Mammalogy*, 53: 429–444.
- Flaquer, C., Puig, X., Fàbregas, E., Guixe, D., Torre, I., Ràfols, R. G., Páramo, F., Camprodon, J., Cimplido, 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.
- Fuentes-Montemayor, E., Goulson, D., Park, K. J. 2011. Pipistrelle bats and their prey do not benefit from four widely applied agri-environment management prescriptions. *Biological Conservation* 144: 2233-2246.
- Furman, A., Bachanek, J., Postawa, T., Çoraman, E. 2011. Morphometric variation and genetic diversity of the lesser and greater mouse-eared bats (Chiroptera: Vespertilionidae) in Thrace and Anatolia. *Acta Chiropterologica* 13: 291–298.

- Furman, A., Öztunç, T., Postawa, T., Çoraman, E. 2010. Shallow genetic differentiation in *Miniopterus schreibersii* (Chiroptera: Vespertilionidae) indicates a relatively recent recolonization of Europe from a single glacial refugium. *Acta Chiropterologica*, 12: 51-59.
- García-Mudarra, J. L., Ibáñez, C., Juste, J. 2009. The Straits of Gibraltar: barrier or bridge to Ibero-Moroccan bats. *Biological Journal of the Linnean Society*, 96: 434-450.
- Gómez, A., Lunt, D. H. 2007. Refugia within refugia: patterns of phylogeographic concordance in the Iberian Peninsula. In: *Phylogeography of Southern European refugia*: 155-188. Weiss, S., Ferrand, N. (Eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- González, F., Alcalde, J. T., Ibáñez, C. 2013. Directrices básicas para el estudio del impacto de instalaciones eólicas sobre poblaciones de murciélagos en España. *Barbastella*, 6: 1-31.
- Graells, M. P. 1897. Fauna Mastozoológica Ibérica. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
- Guardiola, A. 2002. Primeras aportaciones al conocimiento de la comunidad de quirópteros del Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro. Uso del hábitat y propuestas de manejo. Cota Ambiental, S. L. para la Dirección General del Medio Natural. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Inédito.
- Guardiola, A. 2003. Informe preliminar sobre la comunidad de quirópteros del Parque Regional de Sierra Espuña. Ambiental, S. L. para la Dirección General de Medio Natural. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Inédito.
- Guardiola, A., Fernández, M. P. 1992. Los quirópteros de las Minas de La Celia. *Juncellus* 7: 24-25.
- Guardiola, A., Fernández, M. P. 2003a. Mortandad inusual del murciélago de cueva en España: inspección de refugios y valoración del estado de las poblaciones de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Ambiental, S. L. para la Dirección General de Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Inédito.
- Guardiola, A., Fernández, M. P. 2003b. Evaluación de colonias de quirópteros incluidos en el anexo II de la Directiva Hábitats. Ambiental, S. L. para la Dirección General de Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua de la Región de Murcia. Inédito.
- Guardiola, A., Fernández, M. P. 2004a. Informe preliminar sobre el cerramiento de las Minas de La Celia (Jumilla) y la Cueva de Las Yeseras (Santomera) para la conservación de sus poblaciones de murciélagos. Dirección General de Medio Natural. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Inédito.
- Guardiola, A., Fernández, M. P. 2004b. Los murciélagos (Chiroptera) de la Región de Murcia. Revisión histórica y síntesis del estado de conocimientos. *Actas III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia*: 177-186.

- Guardiola, A., Fernández, M. P. 2004c. Mortandad inusual del murciélago de cueva (*Miniopterus schreibersii*) en España: inspección de refugios y valoración del estado de las poblaciones en la Región de Murcia. Actas III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia: 171-175.
- Guardiola, A., Fernández, M. P., Aledo, E. 2004a. Evaluación de colonias murcianas de quirópteros incluidos en el Anexo II de la Directiva Hábitats. Actas III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia: 147-154.
- Guardiola, A., Fernández, M. P., Cabezas J. 2004b. La fauna de quirópteros del Parque Regional de Sierra Espuña (Murcia, SE España). Actas III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia: 155-162.
- Guardiola, A., Fernández, M. P., Díez de Revenga, E., Aledo, E. 2004c. La protección de los murciélagos en la Región de Murcia. Análisis de carencias y oportunidades. Actas III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia: 163-170.
- Guardiola, A., Fernández, M. P., Martínez, J. F., Abad, E. 2004d. Cerramientos de las minas de La Celia (Jumilla) para la conservación de sus poblaciones de murciélagos. Actas III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia: 137-146.
- Guardiola, A., Fernández, M. P., González G. 1991. Los quirópteros de la Región de Murcia. Status, Distribución y Conservación. Agencia Regional para el Medio Ambiente y la Naturaleza. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Inédito.
- Hewitt, G. M. 1996. Some genetic consequences of ice ages, and their role in divergence and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society* 58: 247-276.
- Hewitt, G. M. 1999. Post-glacial re-colonization of European biota. *Biological Journal of the Linnean Society* 68: 87-112.
- 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., Le Lay, G., 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal Applied Ecology*. 45, 1372-1381.
- Holderied, M. W., Jones, G. 2009. Flight dynamic of bats. In: *Ecological and behavioral methods for the study of bats*: 459-475. Kunz, T. H., Parson, S. (Eds). The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Hulva, P., Fornuskova, A., Chudarkova, A., Evin, A., Allegrini, B., Benda, P., Bryja, J. 2010. Mechanisms of radiation in a bat group from the genus *Pipistrellus* inferred by phylogeography, demography and population genetics. *Molecular Ecology*, 19: 5417-5431.
- Husemann, M., Schmitt, T., Zachos, F. E., Ulrich, W., Habel, J. C. 2013. Palaeartic biogeography revisited: evidence for the existence of a North African refugium for Western Palaeartic biota. *Journal of Biogeography*, doi: 10.1111/jbi.12180.

- Hutson, A. M., Mickleburgh, S. P., Racey, P. A. 2001. Microchiropteran bats. Global status, survey and conservation action plan. Gland: IUCN.
- 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.
- Jaarola, M., Searle, J.B., 2004. A highly divergent mitochondrial DNA lineage of *Microtus agrestis* in southern Europe. *Heredity* 92, 229–234
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., Racey, P. A. 2009. Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research* 8: 93-115.
- 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., Ibáñez, C., Muñoz, J., Trujillo, D., Benda, P., Karata, A., Ruedi, M. 2004. Mitochondrial phylogeography of the long-eared bats (*Plecotus*) in the Mediterranean Palaeartic and Atlantic Islands. *Molecular Phylogenetic and Evolution*, 31: 1114-1126.
- Juste, J., Ibáñez, C., Trujillo, D., Muñoz, J., Ruedi, M. 2003. Phylogeography of barbastelle bats (*Barbastella barbastellus*) in the western Mediterranean and the Canary islands. *Acta Chiropterologica*, 5: 165-175.
- Kerth, G., Melber, M. 2009. Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. *Biological Conservation*, 143: 270-279.
- Krüger, F., Harms, I., Fichtner, A., Wolz, I., Sommer, R. S. 2012. High trophic similarity in the sympatric North European trawling bat species *Myotis daubentonii* and *Myotis dasycneme*. *Acta Chiropterologica*, 14: 347-356.
- Kunz, T. H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., Fleming, T. H. 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Science*, 1223: 1-38.
- Kusch, J., Schmitz, A. 2013. Environmental factors affecting the differential use of foraging habitat by three sympatric species of *Pipistrellus*. *Acta Chiropterologica*, 15: 57-67.
- Lisón, F. 2012. Datos biométricos de cinco especies de murciélagos (Mammalia: Chiroptera) de la Región de Murcia (SE España). *Anales de Biología*, 34: 37-42.
- 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., Yelo, N. D., Balsalobre, M., Calvo, J. F. 2005. Primeros datos sobre el murciélago de *Nathusius Pipistrellus nathusii* (Keyserling y Blasius, 1839) en la Región de Murcia. *Galemys*, 17: 47-52.
- 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, M. A., Calvo, J. F. 2000. Environmental and socioeconomic interactions in the evolution of traditional irrigated lands: a dynamics system model. *Human Ecology*, 28: 279-299.
- Martínez-Fernández, J., Esteve, M. A., Carreño, F., Palazón, J. A. 2009. Dynamics of land use change in the Mediterranean: implications for sustainability, land use planning and nature conservation. In: *Land use policy*: 101-103. Denman, A. C., Penrod, O. M. (Eds). New York: Nova Science.
- Mayer, F., von Helversen, O. 2001. Cryptic diversity in European bats. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 268: 1825-1832.
- McConville, A., Law, B., Penman, T., Mahony, M. 2013. Contrasting habitat use of morphologically similar bat species with differing conservation status in south-eastern Australia. *Austral Ecology*, doi: 10.1111/aec.12047.
- McNeely, J. A. 2003. Biodiversity in arid regions: values and perceptions. *Journal of Arid Environments* 54, 61–70.
- Mickleburgh, S. P., Hutson, A. M., Racey, P. A. 2002. A review of the global conservation status of bats. *Oryx* 36, 18–34.
- Murphy, N. P., Breed, M. F., Guzik, M. T., Cooper, S. J. B., Austin, A. D. 2012. Trapped in desert springs: phylogeography of Australian desert spring snails. *Journal of Biogeography* 39, 1573–1582.
- Norberg, U. M., Rayner, J. M. V. 1987. Ecological morphology and flight in bats: Wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B. Biological Sciences*, 316: 335–427.
- Palomo, L. J., Gisbert, J., Blanco, J. C. 2007. Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España. Dirección General de la Biodiversidad-SECEM-SECEMU, Madrid.
- Paz, O. 1986. Age estimation and postnatal growth of the Greater mouse bat *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797) in Guadalajara, Spain. *Mammalia* 50: 243–252.
- Paz, O. 1995. Geographic variation of the Greater horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum*) in the west-half of the Palearctic region. *Myotis*, 32: 33–44.
- Pinho, C., Harris, D. J., Ferrand, N. 2007. Contrasting patterns of population subdivision and historical demography in three western Mediterranean lizards species inferred from mitochondrial DNA variation. *Molecular Ecology*, 16: 1911-1205.
- Rainho, A., Palmeirim, J. M. 2011. The importance of distance to resources in the spatial modeling of bat foraging habitat. *PLoS ONE*, 6: e19227.
- Razgour, O., Clare, E. L., Zeale, M. R. K., Hanmer, J., Schnell, I. B., Rasmussen, M., Gilbert, T. P., Jones, G. 2011. High-throughput sequencing offers insight into mechanisms of resource partitioning in cryptic bat species. *Ecology and Evolution*, doi: 10.1002/ece3.49.

- Razgour, O., Juste, J., Ibáñez, C., Kiefer, A., Rebelo, H., Puechmaile, S. J., Arlettaz, R., Burke, T., Dawson, D. A., Beaumont, M., Jones, G. The shaping of genetic variation in edge-of-range populations under past and future climate change. *Ecology Letters*, 16: 1258-1266.
- Rebelo, H., Froufe, E., Brito, J. C., Russo, D., Cistrone, L., Ferrand, N., Jones, G. 2012. Postglacial colonization of Europe by the barbastelle bat: agreement between molecular data and past predictive modelling. *Molecular Ecology*, 21: 2761-2774
- 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., Rainho, A. 2009. Bat conservation and large dams: spatial changes in habitat use cause by Europe's largest reservoir. *Endangered Species Research*, 8: 61-68.
- Rebelo, H., Tarroso, P., Jones, G. 2010. Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns. *Global Change Biology*, 16: 561-576.
- Ruedi, M., McCracken, G. F. 2009. Phylogeographic analysis of bats. In: *Ecological and behavioral methods for the study of bats: 739-756*. Kunz, T. H., Parson, S. (Eds). The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Rutishauser, M. D., Bontadina, F., Braunisch, V., Ashrafi, S., Arlettaz, R. 2012. The challenge posed by newly discovered cryptic species: disentangling the environmental niche of long-eared bats. *Diversity and Distribution* 18: 1107-1119.
- Salsamendi, E., Aihartza, J. R., Goiti, U., Almenar, D., Garín, I. 2005. Echolocation calls and morphology in the Mehelyi's (*Rhinolophus mehelyi*) and Mediterranean (*R. euryale*) horseshoe bats: Implications for resource partitioning. *Hystrix Italian Journal of Mammalogy*, 16: 149-158.
- 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 Applied Ecology* 44, 1188-1199.
- Scott, S. J., McLaren, G., Jones, G., Harris, S. 2010. The impact of riparian habitat quality on the foraging and activity of pipistrelle bats (*Pipistrellus* spp.). *Journal of Zoology*, 280: 371-378.
- Sirami, C., Jacobs, D. S., Cumming, G. S. 2013. Artificial wetlands and surrounding habitats provide important foraging habitat for bats in agricultural landscapes in the Western Cape, South Africa. *Biological Conservation*, 164: 30-38.
- Strinati, P. 1953. Une grotte chaude près d'Alhama de Murcia. *Speleon* 4: 95-104.
- Taberlet, P., Fumagalli, L., Wust-Sancy, A. G., Cosson, J. F. 1998. Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. *Molecular Ecology* 7: 453-464.

- Thorton, P. K., Jones, P. G., Owiyo, T., Kruska, R. L., Herrero, M., Orindi, V., Bhadwal, S., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N., Omolo, A. 2008. Climate change and poverty in Africa: mapping hotspots of vulnerability. *African Journal of Agricultural and Resource Economics* 2, 24–44.
- Trape, S. 2009. Impact of climate change on the relict tropical fish fauna of Central Sahara: threat for the survival of Adrar mountains fishes, Mauritania. *PLoS One* 4, 1–10.
- Valenzuela, A. 1959. Avance al Catálogo Espeleológico de la Provincia de Murcia. *Speleon* X (3-4): 197-232.
- Valera, F., Díaz-Paniagua, C., Garrido-García, J. A., Manrique, J., Pleguezuelos, J. M., Suárez, F. 2011. History and adaptation stories of the vertebrate fauna of southern Spain's semi-arid habitats. *Journal of Arid Environments*, 75: 1342-1351.
- Ward, D. 2009. *Biology of Deserts*. Oxford University Press, Oxford.
- Wibbelt, G., Moore, M. S., Schountz, T., Voigt, C. C. 2010. Emerging diseases in Chiroptera: why bats? *Biology Letters*, 6: 438-440.
- Wibbelt, G., Puechmaille, S. J., Ohlendorf, B., Mühldorfer, K., Bosch, T., Görföl, T., Passior, K., Kurth, A., Lacreman, D., Forget, F. 2013. Skin lesions in European hibernating bats associated with *Geomyces destructans*, the etiologic agent of White-Nose Syndrome. *Plos ONE*, 8: e74105.
- Wickramasinghe, L. P., Harris, S., Jones, G., Vaughan, N. 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology* 40: 984-993.
- Wilson, J. S. Pitts, J. P. 2012. Identifying Pleistocene refugia in North American cold deserts using phylogeographic analyses and ecological niche modelling. *Diversity and Distributions* 18, 1139–1152.
- Zahn, A., Rottenwallner, A., Güttinger, R. 2006. Population density of the greater mouse-eared bat (*Myotis myotis*), local diet composition and availability of foraging habitats. *Journal of Zoology*, 269: 486–496.

*Creo que en el fondo, Frodo sigue enamorado de La Comarca,
de sus bosques y praderas, de sus arroyos y de sus gentes.*

J. R. R. Tolkien

*Eso desean quienes viven estos tiempos. Pero no les
corresponde a ellos decidir. Lo único que podemos decidir, es
que hacer con el tiempo que se nos ha dado.*

J. R. R. Tolkien

GENERAL SUMMARY AND CONCLUSIONS

-

RESUMEN GENERAL

GENERAL SUMMARY AND CONCLUSIONS

Information about bat fauna for the south-east of the Iberian Peninsula has traditionally been very scarce, with a general ignorance of many aspects of their biology, including: 1) their distribution, 2) biometric data, 3) population characteristics, 4) the presence of cryptic species, 5) habitat use, 6) specific adaptations of taxa, and 7) the influence of human activities.

Information absences are a handicap for developing the first PhD thesis on bats in this region. It was therefore necessary to answer some basic questions about their biology and general ecology. The information gathered could be used to develop management measures for these mammals. Also, such preliminary studies should provide basic knowledge that can be used for specific research work.

The general aim of this thesis was to organise and increase our knowledge of bat biology and ecology in semiarid Mediterranean areas. To achieve this, the different manuscripts published to date have looked at different aspects such as: 1) wing morphology, 2) sexual selection influence, 3) habitat use, 4) inter-specific interactions, and 5) effectiveness of conservation measures in threatened species.

Bat wing measurements are important because they help in species identification, but may also reveal the presence of ecological or biogeographical processes that affect populations. In the first paper presented here, we examined wing measurements to study the presence of sexual size dimorphism (SSD) in the greater mouse-eared bat (*Myotis myotis* Borkhausen, 1797) in populations of the south-east of the Iberian Peninsula. The aims of the study were: 1) to ascertain whether SSD applies to wing measurements and to determine which of these measurements are more discriminant, 2) to check whether there are differences between paired and single males inside the swarming roosts, and 3) to discuss the ecological implications of SSD in this species. For this reason, we examined sexual dimorphism in the wing measurements of 195 adult individuals (141 males and 54 females). Morphological measurements varied significantly, specifically the forearm length including the wrist (FA+), length of the fifth finger excluding the wrist (D5), length of the third finger excluding the wrist (D3) and weight. To examine whether sexual dimorphism was influenced by sexual selection, we used the wing measurements of males present in swarming roosts to compare males of different categories (paired and single).

Our results confirmed SSD in *M. myotis*, where the females are significantly bigger than the males. The forearm and third finger lengths were the most discriminant wing measures in this species. When we examined the differences between paired and single males, we found that there were no significant differences in the wing measurements between them, but the single males were significantly heavier and had a better physical condition.

The presence of SSD in *M. myotis* was previously had a better physical condition in skull measures, but its presence in wing measurements shows that there are strong selection pressures for its maintenance. But while it is difficult to obtain skull measurements, it is easy to obtain wing measurements, which might therefore be a good tool to explore the ecological aspects of bat morphology. Our results show that *M. myotis* of south-east Iberia are bigger than bats of northern Europe, suggesting the existence of a latitudinal cline. On the other hand, our study shows that there is no sexual selection for smaller males. We discuss the implications of SSD for the female of *M. myotis* in terms of reproductive advantages, trophic niche segregation and greater ability to move, which may favour gene flow between populations.

The second paper presented in this thesis copes with the analysis of habitat changes on bat communities. Nowadays, given the large scale transformation suffered by semiarid Mediterranean landscapes and the increase in water bodies after the construction of new hydraulic infrastructures, it is necessary to evaluate the influence of different habitat types and environmental variables on bat activity and richness. Specifically, it was necessary to check the role of artificial water bodies in bat communities. For this, we made recordings with ultrasound detectors in five habitat types (forest, scrub, crops, Tagus-Segura water transfer channel and water bodies) in a protected forest area and its surroundings, where the bat community is rich and diverse. We used bat activity (bat passes and feeding buzzes) and richness (number of species or genera) in each habitat type.

Our results using regression models show that bat activity was significantly higher in the Tagus-Segura channel. However, this activity was principally produced by two common bat species, *Pipistrellus pipistrellus* and *P. pygmaeus*. Inversely, the activity was low in bat species specialists in aquatic habitats, such as *Myotis daubentonii* and *M. capaccinii*. Bat activity in irrigation ponds was significantly higher than in other habitats (forest, scrub and crops). Bat richness was significantly higher in both aquatic systems. Only two species of pipistrelle (*P. pipistrellus* and *P. pygmaeus*) showed a significant positive response to habitat type, while other species were influenced by environmental factors like temperature, humidity or wind speed.

The higher activity recorded in artificial water bodies shows that it has a conservation value for bats, especially for pipistrelles. However, our results show that these aquatic systems are used by common and abundant species, while the presence of threatened species is lower. Therefore, an increase in water bodies in this area would reduce the overall conservation value of the bat community. Also, it could produce a modification of the community through a competitive effect. We propose some measures to increase the conservation value of these infrastructures.

Those species with similar characteristics (e.g. morphology, diet, hunting technique, habitat use, etc.) and living in sympatry should occupy different ecological niches to avoid competitive

exclusion. In the third paper presented here, we used ecological niche factor analysis (ENFA) with only-presence data to construct habitat suitability maps (HSMs) and to study the habitat requirements and interspecific interactions between three sympatric pipistrelles (*Pipistrellus pipistrellus*, *P. pygmaeus* and *P. kuhlii*). Presence data-sets were obtained for each species using different methodologies (roosts, listening points, traps) to avoid bias. The HSMs elaborated were used to analyse any overlapping between species as regards optimal habitat.

Our results showed that these species shared the sites surveyed, but that the ENFA models showed that there are differences in ecological variables between species, although all three species showed preferences for aquatic habitats. The HSMs showed that *P. kuhlii* had the highest percentage of optimal habitat in the study area. *Pipistrellus pygmaeus* had the highest marginality index and *P. pipistrellus* was a habitat tolerant species. These results showed that although the species shows habitat-niche segregation, there is a high overlap between them. We discuss the profound alterations that have occurred in Mediterranean ecosystems as a result of substantial changes in uses (intensive agriculture and urbanization), which may favour *P. pipistrellus* and be detrimental to the other two species, especially *P. kuhlii*.

The fourth paper of the thesis deals with the analysis of the effectiveness of protected areas in conserving bat populations. There are many bat species in Annex II of the Habitats Directive and the effectiveness of the Natura 2000 network needs to be evaluated. For this, we assessed the effectiveness of the Special Areas Conservation (SAC) sites as regards the protection they offer to six species of cave-dwelling bats included in Annex II. We checked the effectiveness at two levels: 1) the protection offered to roosts and, 2) the protection offered for their suitable and optimal habitats. To analyse the effectiveness in the protection of their habitat, ecological niche factor analysis (ENFA) models and their corresponding habitat suitability maps (HSMs) were elaborated. These HSMs were used to calculate the percentage of area that was protected by the SAC sites.

Gap analyses indicated that a 60% of roosts are protected by SAC sites, with values ranging from 45.8% for *Miniopterus schreibersii* to 72.2% for *Rhinolophus hipposideros*. However, the protection offered to suitable and optimal habitats was found to be much lower in general, with values below 40% in all cases. Our results showed that some roosts used by cave-dwelling bats are artificial (mines and buildings). Also, the protection levels offered by habitats are generally too low to ensure an effective protection of their populations. Our study emphasize the importance of assessing the efficiency of protected areas by considering distribution models that incorporate different types of information (e. g. roosts and use habitat) concerning species occurrence.

All the work and research developed for this thesis show that the semiarid conditions of south-east Iberia affect the ecology of bat species, including those with a pan-European distribution. These factors are evident in the morphological measurements obtained for some of

them. Also, they may be reflected in habitat adaptations and their response to human alterations, in a zone with largely anthropic influence. The general conclusions of this thesis are:

1. Semiarid landscapes in the south-east of the Iberian Peninsula affect bat ecology and conservation. These factors can affect species morphology and habitat selection. To apply effective management and conservation measures these adaptations must be studied.
2. Aquatic habitats and wetlands play a fundamental role for bat communities in the zone, especially as hunting and drinking areas. Also, these habitats could be used as landmarks or corridors.
3. Human alterations made in the study area, especially changes in landscape use, have probably had a negative effect on different bat species. Most bat species showed a negative relation with crops, particularly rainfed crops.
4. The design of the Natura 2000 Network omits some aspects of bat ecology, which affects its capacity to achieve its aims.
5. Some roost types (mainly human buildings) are unlikely to be included within the limits of Natura 2000 sites. This could affect negatively the conservation of some cave-dwelling species.
6. The changes made in the availability of water bodies represent an opportunity for habitat tolerant species, but may lead to a loss of biodiversity in the bat community.
7. Ecological niche models with only-presence data are an effective tool for understanding the ecological requirements of bat species.
8. It is necessary to make more studies about bat ecology in semiarid landscapes and increase our knowledge of interspecific interactions between species.

The specific conclusions of each paper are the following:

- The presence of reverse SSD for every wing measurement of *Myotis myotis* populations in the south-east of the Iberian Peninsula, and its persistence are probably motivated by ecological and environmental factors.
- Biometric studies of wing measurements are important to reveal hidden biological aspects of bats (e.g. latitudinal cline, isolation of populations, climate factors, etc), which could help in their conservation.
- The absence of size differences between paired and single males suggests that sexual selection is not related to this feature.
- The worse fitness condition of paired males shows that they make an additional effort during the reproductive period.

About bats and water infrastructures:

- The presence of water bodies in zones where these are limited has a positive effect on bat activity and richness.
- This effect appears to benefit only a few species. Therefore, a disproportionate growth of hydraulic infrastructures and “artificialization” of the aquatic habitats in Mediterranean basins could have negative effects on some of the most endangered species, which would reduce the overall conservation value of the bat community.
- It is necessary to implement conservation measures to prevent these water infrastructures from being prejudicial to bat populations and their insect-prey.

About inter-specific interaction between three sympatric bat species:

- The three species show a pattern of co-occurrence in the study area; however the results show that, despite a number of differences in habitat preferences, there is a high overlap of optimal habitat between them.
- Therefore, we suggest that fine-scale mechanisms of resource partitioning are probably acting to prevent strong competition between them and maintain their coexistence. The models cannot reflect this mechanism.
- The three species show a strong preference for water courses and wetlands, reflecting the importance of aquatic habitats as critical resource for bats in semiarid landscapes. Therefore, the high tolerance of *P. pipistrellus* allows it to use a wide variety of environments, which should give it a competitive advantage over *P. pygmaeus* and *P. kuhlii*.
- The high values for optimal habitat for *P. kuhlii* and its association with human activities indicate that this species is well adapted to human environments. However, *P. kuhlii* may be suffering the effects of substantial changes in the landscape uses.

About the effectiveness of the Natura 2000 Network for cave-dwelling bats:

- The SAC network in the study area is apparently sufficient for the conservation of cave-dwelling bat populations, but could be improved in some aspects.
- It is necessary to include as suitable roosts other types such as mines and buildings.

- Other important habitats for foraging, such as small water habitats and agricultural lands, should be included.
- Specific habitats within SAC sites, not only the cavity itself, should be included.
- Management measures to increase the awareness of owners of agricultural areas near the SAC sites, should be taken.
- Connectivity problems between different SAC sites, should be studied.

RESUMEN GENERAL

La escasez de información sobre los murciélagos en el sureste ibérico no sólo se limitaba a la biodiversidad de especies presentes en la zona, sino que abarcaba otros aspectos como la distribución de las mismas, ausencia de datos morfológicos o biométricos, la peculiaridad de sus poblaciones, la existencia de criptoespecies, el uso del hábitat y la adaptación de los diferentes taxones a las particularidades ambientales de la zona, así como la influencia de las modificaciones antrópicas en el grupo.

Dichas carencias condicionan de manera particular el desarrollo de una tesis doctoral pionera sobre el grupo en dicha región, ya que se hace necesario en primer lugar la resolución de cuestiones básicas de la biología de los taxones, así como abordar cuestiones ecológicas más generales para todo el grupo que puedan usarse para implementar medidas de gestión y conservación para estos mamíferos. Además, dichos trabajos preliminares deben de producir un conocimiento básico que pueda ser utilizado posteriormente para investigaciones más concretas o que afecten a taxones particulares.

El objetivo general de esta tesis doctoral, es organizar e incrementar el conocimiento sobre la biología y ecología de los quirópteros en ambientes mediterráneos semiáridos. Para cumplir este objetivo, los diferentes artículos de la tesis profundizan en objetivos particulares centrados en las poblaciones del sureste ibérico, abarcando diversos aspectos como la morfología alar en las poblaciones del sureste, influencia de la selección sexual, selección del hábitat, interacciones interespecíficas y efectividad de las medidas de conservación sobre las especies más amenazadas.

Dado que las medidas alares de los murciélagos son importantes, no sólo a la hora de identificar especies, sino que pueden revelar la existencia de procesos ecológicos o biogeográficos que afectan a la especie y que pueden caracterizar a las poblaciones. En el primer artículo, se emplearon las medidas alares para examinar la presencia de dimorfismo sexual en tamaño (*Sexual Size Dimorphism*, SSD) en el murciélago ratonero grande (*Myotis myotis*, Borkhausen, 1797) en las poblaciones del sureste ibérico. Los objetivos del estudio eran: 1) Determinar la existencia de SSD en las medidas alares y conocer cuáles son las medidas más discriminantes, 2) Comparar las medidas entre machos emparejados y solitarios dentro de refugios de cópula y 3) Discutir la implicaciones ecológicas del SSD en esta especie. Para ello, se capturaron 195 individuos adultos (141 machos y 54 hembras) a los cuales se les tomaron diferentes medidas morfológicas, especialmente la longitud del antebrazo (FA), quinto dedo (D5), tercer dedo (D3) y peso. Para descartar que el dimorfismo sexual fuera producido por una selección sexual, se aprovechó que dicha especie tiene refugios de cópula para capturar a

machos con diferente condición sexual (emparejados y solitarios) y comparar diferentes medidas entre ellos.

Los resultados demostraron la existencia de un dimorfismo sexual inverso en dicha especie, donde las hembras son significativamente más grandes que los machos. Para todas las medidas alares, las hembras mostraban valores superiores a los machos, pero la longitud del antebrazo y del tercer dedo eran las medidas más discriminantes para esta especie. La comparación de las medidas alares entre los machos emparejados y los solitarios, se observó que no existían diferencias significativas entre ellos, aunque se encontró que los machos solitarios tenían un peso y una condición física significativamente mejor que los machos emparejados.

La presencia de SSD en *M. myotis* se había descrito en las medidas craneales, pero su presencia en las medidas alares pone de manifiesto la existencia de fuertes presiones para su mantenimiento en la naturaleza. Por otro lado, la obtención de medidas craneales es sumamente difícil, mientras que las medidas alares se toman regularmente, y por lo tanto puede constituir una buena herramienta para aflorar peculiaridades en las poblaciones de quirópteros. Nuestro estudio muestra que los individuos del sureste ibérico son mucho más grandes que los encontrados en el norte de Europa y por lo tanto, es posible la existencia de una clina latitudinal para la especie. Por otro lado, nuestro estudio muestra que no se produce una selección sexual por parte de las hembras de machos más pequeños, lo que explicaría en parte del dimorfismo a través de un proceso de selección sexual. Se discute la existencia y mantenimiento de dicho dimorfismo en términos de ventajas reproductivas, segregación del nicho trófico y movilidad. Además de las implicaciones en el flujo genético entre poblaciones.

La fuerte transformación que ha sufrido la Cuenca del Segura y el aumento de los cuerpos de agua que ha supuesto la puesta en marcha de diferentes infraestructura hidráulicas, hacía necesario evaluar la influencia de los diferentes tipos de hábitat y de otras variables ambientales sobre la actividad y la riqueza de especies de murciélagos. Y de forma específica, evaluar el papel de los cuerpos de agua artificiales en la comunidad de murciélagos. Para ello, se realizaron puntos de escucha con detectores de ultrasonidos en cinco tipos de hábitats (bosque, matorral, cultivos, trasvase y balsas) en las inmediaciones de un espacio protegido que tienen una comunidad de quirópteros rica y diversa. Se utilizaron dos parámetros para determinar el uso del hábitat por los murciélagos. Por un lado, se midió la actividad de los mismos utilizando como medidas las pasadas y los zumbidos de alimentación por unidad de tiempo. Así mismo, se midió la riqueza de especies en cada tipo de hábitat.

Los resultados del estudio, empleando modelos de regresión, indicaron que la actividad de los murciélagos era significativamente más elevada en el canal del Tajo-Segura que en el resto de hábitats estudiados. Sin embargo, dicha actividad elevada estaba fundamentalmente producida por dos especies de murciélagos bastante comunes, *Pipistrellus pipistrellus* y *P. pygmaeus*. Por el

contrario, la actividad de otras especies, concretamente las especializadas en cazar en este tipo de ambientes como *Myotis daubentonii* y *Myotis capaccinii* era baja. Por otro lado, la actividad en las balsas de riego es significativamente mayor que la registrada en los otros tipos de hábitats. La riqueza de especies es significativamente más elevada en ambos sistemas acuáticos. Únicamente las dos especies de pipistrellos (*P. pipistrellus* y *P. pygmaeus*) muestran una respuesta dependiente del tipo de hábitat de forma significativa, mientras que otras especies tienen su actividad determinada por otros factores ambientales como puede ser la temperatura, la humedad o la velocidad del viento.

La elevada actividad registrada en los cuerpos de agua artificiales indica que tienen un valor de conservación para los murciélagos, especialmente para los pipistrellos. Sin embargo, también se detecta que dichos sistemas son utilizados por especies de murciélagos relativamente comunes y abundantes, mientras que las más amenazadas apenas están presentes. De tal forma, que el aumento de los recursos acuáticos de la zona puede tener un efecto beneficioso para ciertas especies, pero también puede contribuir a la vulgarización de la comunidad. Además, puede producirse una modificación de la comunidad por efecto competitivo entre ellas. Se propone algunas medidas para incrementar el valor de conservación de dichas infraestructuras, al menos en zonas protegidas.

Aquellas especies con características similares (ej. morfología, dieta, técnica de caza, uso del hábitat) y que viven en simpatria deben interactuar entre ellas. Se emplearon modelos de nicho ecológico con datos de solo presencia para generar mapas de hábitat idóneo, con el objetivo de estudiar los requerimientos ecológicos y las interacciones inter-específicas entre tres especies de pipistrellos simpátricas (*Pipistrellus pipistrellus*, *P. pygmaeus* y *P. kuhlii*). Se empleó una base de datos de presencias de cada especie, que fue obtenida mediante una combinación de metodologías (inspección de refugios, transectos de escucha y trampeo) a fin de evitar sesgos. Con estos datos, se usó análisis factorial del nicho ecológico (Ecological Niche Factorial Analysis, ENFA) para realizar modelos y determinar las variables ecogeográficas que eran importantes para las tres especies y posteriormente se elaboraron mapas de idoneidad del hábitat (habitat suitability maps, HSM) para cada una de ellas. Los HSM fueron empleados para comparar el solapamiento entre el hábitat óptimo de las tres.

Los resultados mostraron que las tres especies comparten en gran medida los lugares prospectados, no obstante los modelos ENFA mostraron que existen diferencias para las variables ecológicas que afectan a las diferentes especies. Aunque todas ellas tienen preferencias por los ambientes acuáticos. Los HSM mostraron que *P. kuhlii* era la especie con una mayor proporción de hábitat óptimo, *P. pygmaeus* era la especie más marginal y *P. pipistrellus* se muestra como una especie tolerante y generalista. Estos resultados muestran que aunque las especies muestran segregación en el nicho, existe un elevado grado de solapamiento entre ellas. Por lo tanto, la

coexistencia debe producirse a fina escala y pueden intervenir otros factores como la segregación temporal del nicho.

Se discute las posibles consecuencias de los cambios en los usos del suelo en los ecosistemas mediterráneos (agricultura intensiva y urbanización) en las tres especies, de tal forma que dichos cambios pueden beneficiar a *P. pipistrellus* que es la especie más tolerante mientras que pueden tener efectos negativos sobre las otras dos.

La presencia de muchas especies de murciélago en el Anexo II de la Directiva Hábitat, hace necesario una evaluación de la efectividad de la misma. Para ello, se estudió la protección ofrecida por el conjunto de SACs (Special Areas Conservation) para 6 especies de murciélagos cavernícolas incluidos en el Anexo II. La evaluación de la efectividad se realizó a dos niveles, 1) En la protección de los refugios y 2) En la protección de los hábitats idóneos para las especies. Para analizar la eficacia en la protección de los hábitats, se elaboraron modelos de nicho ecológico con datos de sólo presencia (ENFA) para las especies estudiadas y posteriormente se elaboró el consecuente mapa de idoneidad del hábitat (HSM). Los HSM fueron empleados para calcular el porcentaje de área de cada hábitat que se encontraba dentro de los LIC.

Los resultados del estudio mostraron que aproximadamente el 60% de los refugios conocidos para las especies estudiadas estaban protegidos por los LICs, aunque los valores oscilaban entre el 45.8% para *Miniopterus schreibersii* y 72.2% para *Rhinolophus hipposideros*. No obstante, la protección ofrecida por los LICs a los hábitats adecuado y óptimo de las especies estudiadas no superaba en ningún caso el 40%. Para las especies cavernícolas una gran parte de los refugios utilizados no son refugios naturales (minas y edificios) y los niveles de protección de los hábitats son generalmente muy bajos para asegurar una protección eficaz de las poblaciones. El estudio también resalta la necesidad de incorporar al desarrollo de los modelos diferentes fuentes de información (refugios y uso del hábitat).

El conjunto de trabajos e investigaciones desarrollados para esta tesis muestran que las condiciones de semi-aridez del sureste peninsular influyen en la ecología de las especies, incluso en aquellas con una amplia distribución europea. Dichas influencia puede manifestarse en las medidas morfológicas de algunas de ellas. Pero también se refleja en las adaptaciones a los hábitats existentes y en la respuesta de ellas a las modificaciones realizadas por el hombre, en una zona que tienen una larga influencia antrópica.

Las conclusiones generales de esta tesis son:

1. Los ambientes semiáridos del sureste peninsular condicionan la ecología y la conservación de los murciélagos. Estos condicionantes puede afectar a la morfología de las especies y a la selección de hábitat. Por lo tanto, para aplicar medidas de gestión y conservación eficaces para todo el grupo debe estudiarse dichas adaptaciones a fin de conseguir la protección adecuada.
2. Los ambientes acuáticos y los humedales juegan un papel fundamental para las comunidades de murciélagos de la zona, siendo especialmente importantes como lugares de caza y para beber. También pueden tener un importante papel como marcas del paisaje o corredores.
3. La modificación producidas por el hombre en el área de estudio, especialmente los cambios en el uso del suelo pueden estar afectando negativamente a las diferentes especies de murciélagos, incluso a la más antrópicas. Gran parte de las especies muestran una relación negativa con los hábitats agrícolas, particularmente los cultivos de secano. Estas modificaciones se pueden traducir en una pérdida de hábitat o una fragmentación del mismo.
4. El diseño de la Red Natura 2000 obviando muchos aspectos de la ecología de los murciélagos puede desembocar en una ineficacia de la propia red para cumplir sus objetivos.
5. La exclusión de otros tipos de refugios artificiales en las medidas de protección puede suponer una desventaja para la conservación de los murciélagos cavernícolas en el sureste ibérico.
6. Los cambios producidos por la alteración de los cuerpos de agua pueden suponer una oportunidad para especies tolerantes, pero también puede conducir a la banalización de la comunidad.
7. El uso de modelos de nicho ecológico con datos de sólo presencia se muestran como una herramienta eficaz para conocer los requerimientos ecológicos de las especies de murciélagos.
8. Se hace necesario la realización de nuevas investigaciones sobre ecología de los murciélagos en ambientes semiáridos que incremente el conocimiento de las particulares relaciones entre estos mamíferos.

A continuación se exponen las conclusiones particulares de cada uno de los artículos que conforman esta tesis:

- La presencia de SSD inverso en las medidas alares de *M. myotis* en las poblaciones del sureste ibérico y su persistencia pueden estar motivadas por factores ecológicos y ambientales.
- Los estudios biométricos de las medidas alares son importantes para revelar aspectos biológicos ocultos de los murciélagos.
- La ausencia de diferencias en las medidas alares entre machos con diferente condición sexual sugieren la ausencia de selección sexual para el tamaño de los machos.
- Las diferencias en la condición física entre machos, indican que aquellos emparejados realizan un esfuerzo adicional durante la época de cópula.

Para el efecto de las infraestructuras acuáticas sobre los murciélagos:

- La presencia de cuerpos de agua en zonas donde estos son escasos, proporcionan un beneficio para la actividad y la diversidad de murciélagos.
- El efecto beneficioso puede producirse únicamente para algunas especies, por lo que un crecimiento desproporcionado de las infraestructuras hidráulicas y una artificialización de la zona puede producir efectos negativos para especies amenazadas. Especialmente, si se tratan de especies especializadas en cazar sobre la superficie acuática.
- Es necesario la inclusión de medidas correctoras para evitar que la artificialización de las estructuras acuáticas supongan un perjuicio para las poblaciones de murciélagos y de los insectos de lo que se alimentan.

En cuanto a las interacciones interespecíficas entre tres especies simpátricas de murciélagos:

- Las tres especies de pipistrellos muestran un patrón de coocurrencia, sin embargo se observa que existen diferencias en la preferencia del hábitat y aunque existe solapamiento del nicho, también existe cierta diferenciación del mismo.
- Por lo tanto, es posible que se produzca una segregación del mismo a través de mecanismos a escala menor que no pueden reflejarse en los modelos y que permitan la coexistencia de las dos especies.
- Las tres especies muestran preferencias por hábitats acuáticos en una zona donde es un recurso limitado. Por lo tanto, la tolerancia de *P. pipistrellus* puede darle una ventaja competitiva sobre las otras dos especies en un contexto en el cual se produce un incremento artificial y desproporcionado de estas infraestructuras.
- Los valores para el hábitat óptimo de la especie *P. kuhlii* y su asociación a actividades humanas indican una relación prolongada entre ambas, pero puede verse afectada negativamente por los sustanciales cambios en los usos del suelo.

En cuanto a la efectividad de la Red Natura 2000 en la conservación de los murciélagos cavernícolas, se concluye:

- La red de LIC es aparentemente suficiente para la conservación de los murciélagos cavernícolas, pero deben mejorarse varios aspectos.
- Deben incluirse como refugios adecuados otras tipologías, tales como los refugios artificiales (minas, edificaciones, etc.).
- Deben incluirse hábitats importantes para la caza de estas especies, como pueden ser hábitats acuáticos pequeños o zonas agrícolas.
- Deben incluirse dentro de los LIC hábitats específicos alrededor de los refugios, no únicamente la cavidad.
- Deben llegarse a acuerdos con los propietarios de áreas agrícolas en las inmediaciones de los LIC.
- Debe estudiarse los problemas de conectividad entre los LIC.

*Dos caminos se abrieron ante mí.
Tomé el menos transitado... y eso lo cambio todo.*

Robert Frost

PAPERS

DIMORFISMO SEXUAL EN EL TAMAÑO DEL MURCIÉLAGO RATONERO GRANDE *Myotis myotis* (CHIROPTERA: VESPERTILIONIDAE) EN UNA REGIÓN MEDITERRÁNEA

RESUMEN

La presencia de dimorfismo sexual en el tamaño es común entre los mamíferos, pero no existe una explicación clara sobre su mantenimiento en la naturaleza. Los murciélagos es uno de los pocos grupos de mamíferos que presenta dimorfismo sexual inverso. En este grupo, el tamaño de los individuos puede tener importantes consecuencias ecológicas sobre el vuelo de los individuos. En este estudio, se examinó el dimorfismo sexual en las medidas alares de 195 individuos adultos (141 machos y 54 hembras) del murciélago ratonero grande *Myotis myotis* en el sureste de la Península Ibérica. Además, se estudió las diferencias en tamaño entre los machos emparejados y no-emparejados en los refugios de cópula. Los resultados indican que existen diferencias significativas en las medidas alares entre sexos, las hembras son mucho más grandes que los machos en este aspecto. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los machos emparejados y los no-emparejados. En cambio, si existían diferencias significativas entre el peso y el estado físico entre los machos, siendo los machos no-emparejados mucho más pesados y con una mejor condición física. Se discute las implicaciones del dimorfismo sexual inverso en las hembras de *M. myotis* en términos de ventajas reproductivas, segregación del nicho trófico y mayor movilidad, probablemente favoreciendo el flujo genético entre poblaciones.

Palabras clave: Biometría, condición física, selección sexual, dimorfismo sexual inverso, medidas alares.

Este capítulo ha sido publicado como:

Lisón, F., Haz, Á, González-Revelles, C. & Calvo, J. F. 2014. Sexual size dimorphism in greater mouse-eared bat *Myotis myotis* (Chiroptera: Vespertilionidae) from a Mediterranean region. Acta Zoologica (Stockholm). 95: 137-143 doi: 10.1111/azo.12012

URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/azo.12012/abstract>

SEXUAL SIZE DIMORPHISM IN GREATER MOUSE-EARED BAT *Myotis myotis* (CHIROPTERA: VESPERTILIONIDAE) FROM A MEDITERRANEAN REGION

Abstract

Although sexual size dimorphism (SSD) is common among mammals, there is no clear explanation for its maintenance in nature. Bats are one of the few groups of mammals where reverse SSD appears. In this group, the size of individuals may have very important ecological consequences related with flight. In this study, we examine sexual dimorphism in the wing measurements of 195 adult individuals (141 males and 54 females) of the greater mouse-eared bat *Myotis myotis* in the south-east of the Iberian Peninsula. We also investigated size differences between paired and single males in a swarming roost. The results indicate that there are significant differences in the wing measurements between sexes, females being bigger than males in this respect. While no significant differences in the wing measurements of paired and single males were observed, significant differences were found in their relative weight and fitness, single males being significantly heavier and having a better physical condition. We discuss the implications of SSD for the female of *M. myotis* in terms of reproductive advantages, trophic niche segregation and a greater ability to move, which may favour gene flow between populations.

Keywords: Biometry, fitness, sexual selection, reversed size dimorphism, wing measurements.

EL SIGNIFICADO DE LAS INFRAESTRUCTURAS ACUÁTICAS EN LA CONSERVACIÓN DE LOS MURCIÉLAGOS EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS SEMIÁRIDOS

RESUMEN

Las áreas mediterráneas semiáridas del sureste de España han sufrido un gran crecimiento económico en los últimos años debido a una desproporcionada expansión de la agricultura intensiva y el urbanismo. Este crecimiento se ha apoyado en el desarrollo de trabajos de ingeniería hidráulica a gran escala para compensar las restricciones impuestas por los escasos recursos hídricos autóctonos. Se estudia el papel de este tipo de infraestructuras en el uso de hábitat de los murciélagos en un área forestal protegida y sus alrededores, un paisaje mixto con zonas agrícolas tradicionales e intensivas, y que está cruzado por el canal del trasvase Tajo-Segura y que tiene numerosas balsas de riego. Los resultados muestran que las infraestructuras acuáticas tienen un efecto positivo sobre la actividad de los murciélagos (medida como pasadas y zumbidos de alimentación por unidad de tiempo) y sobre la riqueza de especies. Los modelos de regresión indican que la actividad de los murciélagos es muy elevada en el canal Tajo-Segura con respecto a otro tipo de hábitat estudiado. Sin embargo, la gran actividad aparentemente está producida por la presencia de dos especies de murciélagos comunes, *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus pygmaeus*, mientras que otras especie, como los murciélagos especializados en cazar sobre la superficie acuática como *Myotis daubentonii* y *Myotis capaccinii* son menos frecuentes, a pesar de estar más amenazados. La ausencia de vegetación a lo largo del canal y la velocidad del agua parece que no benefician a estas dos últimas especies, mientras que tiene un gran valor para la conservación de otras, como los murciélagos del género *Pipistrellus*.

Palabras clave: cuerpos de agua artificiales, Chiroptera, uso del hábitat, agricultura de regadío, Trasvase Tajo-Segura.

Este capítulo ha sido publicado como:

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. doi: 10.1111/j.1469-11796.2011.00460.x

URL:<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-1795.2011.00460.x/abstract>

THE SIGNIFICANCE OF WATER INFRASTRUCTURES FOR THE CONSERVATION OF BATS IN A SEMIARID MEDITERRANEAN LANDSCAPE

ABSTRACT

The semiarid Mediterranean areas of south-eastern Spain have undergone great economic growth in recent years following the disproportionate expansion of intensive agriculture and housing developments. Such growth can only be supported by the development of large-scale hydraulic engineering works to compensate for the restrictions imposed by the scarcity of autochthonous water resources. We have studied the role of this type of infrastructure in the habitat use of several bat species in a protected forest area and its surroundings, a mixed landscape of traditional and intensive agricultural landscape crossed by the Tagus–Segura water transfer channel and endowed with frequent irrigation ponds. Our results showed that water infrastructures have a positive effect on bat activity (as measured as bat passes and feeding buzzes per unit time) and species richness. The regression models indicate that bat activity is notably higher in the Tagus–Segura channel than in the other habitat types studied. However, this higher activity appears to be mainly due to the presence of the two most common species, *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus pygmaeus*, while others, such as the trawling bats *Myotis daubentonii* and *Myotis capaccinii*, specialist hunters in this kind of habitat and under greater threat in the study area are much less frequent. The absence of vegetation along the canal and the speed of the current do not seem to favor the presence of these last two species, whose conservation value is much greater than that of the pipistrelles.

Keywords: artificial water body; Chiroptera; habitat use; irrigation agriculture; Tagus–Segura water transfer.

MODELOS DE NICHO ECOLÓGICO PARA TRES ESPECIES DE MURCIÉLAGOS DEL GÉNERO *PIPISTRELLUS* EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS SEMIÁRIDOS

RESUMEN

Los humedales y los hábitats acuáticos en los ambientes mediterráneos son muy escasos en general, representando un recurso limitante para todas las especies. Para los murciélagos del género *Pipistrellus*, estos ambientes son esenciales y aquellas especies que viven en simpatria deben desarrollar mecanismos de reparto del nicho para evitar la competición directa. Usando modelos de nicho ecológico y mapas de hábitat idóneo se ha estudiado los requerimientos ecológicos y las posibles interacciones interespecíficas entre tres especies simpátricas de murciélago del género *Pipistrellus* en ambientes mediterráneos semiáridos. Los resultados muestran que existen diferencias entre las tres: *Pipistrellus kuhlii* tiene la mayor proporción de hábitat óptimo (a pesar de que es la menos común), *Pipistrellus pygmaeus* tienen los valores más altos de marginalidad y la más común *Pipistrellus pipistrellus* es una especie generalista y tolerante. Sin embargo, las tres especies muestran una gran preferencia por los hábitats acuáticos y existe un elevado grado de solapamiento entre ellas, por lo tanto su coexistencia obedece a mecanismo de reparto del nicho a pequeña escala. Las profundas alteraciones que se han producido en los ecosistemas mediterráneos han dado como resultado cambios substanciales en los usos del suelo (agricultura intensiva y urbanización) que pueden favorecer a *P. pipistrellus* e ir en detrimento de las otras dos especies, especialmente *P. kuhlii*.

Palabras clave:

Este capítulo ha sido publicado como:

Lisón, F. & Calvo, J. F. 2013. Ecological niche modelling of three pipistrelle bat species in semiarid Mediterranean landscapes. *Acta Oecologica*, 47: 68-73. doi: 10.1016/j.actao.2013.01.002

URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1146609X13000039>

ECOLOGICAL NICHE MODELLING OF THREE PIPISTRELLE BAT SPECIES IN SEMIARID MEDITERRANEAN LANDSCAPES

ABSTRACT

Wetlands and aquatic habitats in Mediterranean environments are very scarce in general, representing a limiting resource for all species. For pipistrelle bats, such environments are essential and so those species living in sympatry have to develop mechanisms of niche partitioning to avoid direct competition. We used ecological niche models and habitat suitability maps (HSMs) to study the ecological requirements and possible interspecific interactions between three sympatric species of pipistrelles in semiarid Mediterranean landscapes. The results point to differences between the three species: *Pipistrellus kuhlii* has the largest proportion of optimal habitat (despite being the least common), *Pipistrellus pygmaeus* has the highest value of marginality and the most common, *Pipistrellus pipistrellus*, is a habitat-tolerant and generalist species. However, all three species show a strong preference for aquatic habitats and there is a high degree of overlapping between them, so that their coexistence must obey fine-scale mechanisms of niche partitioning. The profound alterations that have occurred in Mediterranean ecosystems as a result of substantial changes in the landscape uses (intensive agriculture and urbanization) may favour *P. pipistrellus* and be detrimental to the other two species, especially *P. kuhlii*.

Keywords: Aquatic habitats, Chiroptera, Habitat suitability maps, Niche partitioning, *Pipistrellus*.

EFFECTIVIDAD DE LA RED NATURA 2000 EN LA CONSERVACIÓN DE LOS MURCIÉLAGOS CAVERNÍCOLAS EN UNA REGIÓN MEDITERRÁNEA

RESUMEN

La Red Natura 2000 representa el mayor esfuerzo en conservación realizado en Europa, sin embargo su efectividad es cuestionada algunas veces, especialmente en las regiones mediterráneas. Los murciélagos están protegidos por la Directiva Hábitat y la presencia de ciertas especies es un prerrequisito para la designación de Lugares de Importancia Comunitaria (LICs) que pueden incluirse dentro de la Red Natura 2000. No obstante, la efectividad de los LIC en la protección de los murciélagos, especialmente las especies cavernícolas, no ha sido evaluada. Se ha estudiado la efectividad de los LIC en la protección de los refugios de seis especies de murciélago cavernícolas y la protección de sus hábitats idóneo y óptimo, usando modelos de nicho ecológico. El análisis de carencias indica que aproximadamente el 60% de los refugios se encuentra protegido por los LIC, con valores que oscilan entre el 45,8% para *Miniopterus schreibersii* y el 72,2% para *Rhinolophus hipposideros*. La protección para los hábitats idóneo y óptimo es mucho menor en general, con valores por debajo del 40% en todos los casos. Los resultados ponen de manifiesto el valor potencial de refugios subterráneos no naturales (ej. minas y edificios) en la conservación de las poblaciones de murciélagos y la importancia de una aproximación a la eficacia de las áreas protegidas considerando modelos de distribución que incorporen diferentes tipos de información (ej. refugios y uso del hábitat) en la presencia de las especies.

Palabras clave: Chiroptera, modelos de nicho ecológico, hábitat idóneo, refugios, lugares de importancia comunitaria.

Este capítulo ha sido publicado como:

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: 528-533. doi: 10.1111/acv.12025

URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/acv.12025/abstract>

EFFECTIVENESS OF THE NATURA 2000 NETWORK FOR THE CONSERVATION OF CAVE-DWELLING BATS IN A MEDITERRANEAN REGION

ABSTRACT

The Natura 2000 Network represents the greatest step forward yet in conservation in Europe, although its effectiveness is sometimes questioned, especially in Mediterranean regions. Bats are protected by the Habitat Directive and the presence of certain species is a prerequisite before Special Areas Conservation (SAC sites) can be included as such in the Natura 2000 Network. However, the effectiveness of SAC sites as regards the protection they offer to bats, especially cave-dwelling species, remains to be evaluated. We assess the effectiveness of the SAC system for protecting the roosts of six species of cave-dwelling bats and for protecting suitable and optimal habitats, using ecological niche models. Gap analyses indicate that c. 60% of roosts are protected by SAC sites, with values ranging from 45.8% for *Miniopterus schreibersii* to 72.2% for *Rhinolophus hipposideros*. The protection offered to suitable and optimal habitats was found to be much lower in general, with values of below 40% in all cases. Our results emphasize the potential value of non-natural caves (e.g. mines and buildings) for the conservation of bat populations, and the importance of assessing the efficiency of protected areas by considering distribution models that incorporate different types of information (e.g. roosts and use habitat) concerning species occurrence.

Keywords: Chiroptera; ecological niche modelling; suitable habitat; roost; special areas of conservation.

*Seguiré caminando por la vida
sin volver la vista atrás
nunca dejo una partida
lucho siempre hasta el final*

*Seguiré peleando con la vida
venderé cara mi piel
sin lamerme las heridas
sí molesto...me quedo
y que os den*

Mägo de Oz

ACKNOWLEDGEMENTS

La conclusión de esta tesis marca un punto y aparte en la consecución de un proyecto que se inició hace unos 10 años. Su lectura me sitúa ahora mismo en un punto incierto, tan alejado del principio como del final. A la hora de escribir esta parte, es cuando uno mira hacia atrás y le abruman un sinfín de sentimientos producidos por la realización de la misma. Está la ilusión, la esperanza, la alegría y el orgullo. Pero también está la rabia, la frustración y la ira. Al fin y al cabo, somos pasiones y todas ellas han contribuido de igual forma a la realización de la tesis.

Sin embargo, no se puede olvidar que aunque mi nombre figura en la portada, la tesis ha sido realizada por más personas. Las cuales me han ayudado y me han soportado a lo largo de estos años. Y por este motivo, las siguientes letras son sólo una pequeña muestra de la gratitud y el cariño que les tengo. Por eso también quedaran aquí plasmadas, para que todos lo sepan.

En primer lugar es para Ángeles Haz, a la que va dedicada la tesis. Todos estos años has sido compañera infatigable. El mejor punto de apoyo y la que siempre me ha dado fuerzas para seguir con esto. La que ha aguantado mi mal humor, aquella que ha sacrificado tantas cosas por mí. Nunca encontraré la manera de pagártelo.

A mi “tesoro” Carmela. No habías nacido cuando empezamos con esto y ya eres toda una “chica”. Tu sonrisa es lo mejor y tus besos un bálsamo. Perdona a tu padre si no te ha dedicado todo el tiempo que necesitabas.

Quiero darle las gracias a mi familia por todo lo que han hecho por mí. A mis abuelos, por enseñarme a amar a los animales y a esta fecunda tierra. En Campos del Río se despertó mi amor por la naturaleza y mi vocación de biólogo y nunca hubiera sido posible sin la presencia de mis abuelos y mi tía Isabel. A mis padres (Calixto y Dolores) quiero darles las gracias por permitirme estudiar y sacarme la carrera, sin hacer preguntas y sacrificándose por mí. Y por todo el amor que me han dado. Ellos me han enseñado a tener tesón, orgullo y a no desfallecer nunca. A mi hermano Sebas, porque siempre ha estado ahí y ha luchado junto a mí. Eres el mejor, coño. A mi hermana Cristina, por la parte que le toca. Y a mi sobrino José y sus ensordecedores gritos.

Muchas de las locuras que he hecho (cajas nido, redes japonesas, romper el Vitara, etc), han sido gracias a la ayuda de José Luis Haz, que me ha enseñado mucho de manualidades y siempre me ha apoyado.

A mi director de Tesis José F. Calvo, que hace muchos años acepto la tarea de dirigir a un pimpollo que quería estudiar murciélagos. Por empezar valientemente una nueva vía de

investigación. A sus valiosas enseñanzas en ecología y su inestimable ayuda a la hora de realizar las publicaciones. Así como sus buenos consejos.

Agradezco a mis compañeros de Departamento el interés mostrado por mis estudios, especialmente a José A. Palazón, Ilú y Mario León. También a Carlos González-Revelles, que tan magníficas fotos ha sacado. De igual modo, a mis compañeros del Laboratorio de Ecología Acuática, David Sánchez-Fernández y Félix Picazo. Ellos han contribuido en la discusión de algunos artículos, han mejorado su redacción y han aportado valiosas revisiones. Gracias chicos, seguiremos trabajando.

La gente del Departamento de Toxicología de la Universidad de Murcia, con Antonio Juan García-Fernández al frente, apoyó decididamente la realización de tres estudios de campo estudiando la presencia de metales pesados en los murciélagos. Fruto de ello se realizaron un proyecto fin de master y 2 proyectos fin de carrera. Gracias a Silvia Espín, José Joaquín Bó Mondejar, Albert Cámara y Bárbara Aroca.

También estoy en deuda con la gente del Departamento de Zoología y Antropología Física de la Universidad de Murcia, especialmente con la Prof. Mar Torralva, el Prof. Francisco J. Oliva-Paterna, la Dra. Asunción Andreu y el Dr. David Verdiell. También a la Dra. Mercedes González Wangüermert.

Quiero agradecer a todos mis amigos (son casi hermanos) del Grupo VS (David, Juanillo, José Antonio, Jósico, Javi, Puertas, Jorge, Sergio, José Manuel “Che” y Esteban) los innumerables buenos momentos vividos durante la carrera. Las divertidas tardes en la biblioteca, las noches de juerga y el apoyo constante. El fuerte lazo de la amistad fraguado durante todo ese periodo no se ha roto y seguirá siempre intacto. A pesar de las distancias y del tiempo. Y no me quiero olvidar del guardián de los libros, el bibliotecario Antonio que tantos buenos momentos me ha hecho pasar y con el que he tenido interesantes conversaciones sobre la vida.

Me gustaría agradecer de forma especial todos los años de amistad que me ha brindado mi compañero Severiano Giménez Vivas desde la más tierna infancia. Siempre se ha mostrado como una persona fiable, que sabe escuchar y que está siempre que lo necesitas. A su familia también le debo estar muy agradecido.

Igualmente me siento muy ligado a José A. López-Espinosa y su familia, que siempre me han dado una gran acogida en su casa, me han servido de gran ayuda y han sido cariñosos conmigo.

Quiero mostrar mi gratitud a Néstor D. Yelo, Paco Almansa, Eugenio Martínez, Salvador Rubio, José M. Vidal, Julián Picazo, Manuel López, Cristina Díaz, Alfonso Díaz, José Luis Llamusí, etc, por acompañarme en los muestreos y al personal de la Administración: J. D. Cabezas, M. Balsalobre, P. Rosell, M. A. Martínez-Aedo, y muy especialmente a Emilio Aledo, por facilitarme los permisos para realizar las investigaciones, así como la confianza depositada en mí para la realización de algunos proyectos de la Consejería.

I would like to thank Prof. Gareth Jones (University of Bristol) his wonderful welcome in his laboratory, to be comprehensive with my horrible English and for help and teach me many things about bat diet analysis. As well, I thank Dr. Orly Razgour (University of Bristol-University of Stirling) for her advices, reviews and the nice summer of 2013 sampling in south Iberia. Also Dr. Hugo V. Rebelo (University of Oporto) for teaching me about ultrasound analysis and echolocation calls.

Quiero mostrar mi agradecimiento público a Ángel Guardiola, quién me introdujo en el mundo de los murciélagos y me enseñó algunos de sus secretos. Esta tesis no hubiera sido posible sin sus pioneros trabajos que marcaron un punto de inflexión y despertaron la necesidad de estudiar a este grupo.

Gran parte de los trabajos realizados con murciélagos en la Región de Murcia ha sido gracias al interés de muchas personas que de forma voluntaria trabajan por el medioambiente de nuestra tierra. La Asociación MELES; el grupo Scout Leyva, Programa de Voluntariado en Sierra Espuña y Calblanque. El Programa de Voluntariado en Ríos de la Confederación Hidrográfica del Segura y los chicos de las Asociación RioRie y E-Plan. En el Altiplano, la Asociación ANIDA y sus gentes. También al Grupo Biodiversidad de Albacete (Julián Picazo), que ha colaborado en algunas recogidas de muestras más allá de la región. Al Director del Parque Regional de Lagunas de Ruidera y especialmente a agente medioambiental Manuel López, cuyo amor por su tierra y sus enormes conocimientos del medio permiten una conservación de la misma. A Ramón García Pereira y la Asociación Amigos del Valle de L'Avaiol en la provincia de Alicante. Sin olvidarme de la Federación Murciana de Espeleología.

Así mismo, muestro mi gratitud a los socios de la SECEMU, por sus valiosos comentarios y por los buenos ratos vividos en algunas de las reuniones. Especialmente a Javier Juste, por el análisis de las muestras de ADN, Joserra Aihartza, Óscar de Paz, Miguel Ángel Monsalve y José Tomas Alcalde.

No me quiero olvidar de los compañeros de SGS-TECNOS S.A., gracias a su apoyo se le puedo dar un importante empujón a los muestreos y preparar una base de datos decente que hicieran posibles los modelos. También contribuyeron a crear un buen ambiente de trabajo y fueron 18 meses muy buenos. Gracias a Antonio del Saz, Álvaro Pérez, Gonzalo, Rosana y Antonio Borreguero.

No quiero despedirme sin expresar mi gratitud a los grupos *Mägo de Oz* y *Warcry* por sus canciones. Letras que despertaron los ánimos y ayudaron a apretar los dientes y seguir adelante hasta el final. Gracias por componer... CABRONES.