



Análisis de la estructura del paisaje del Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama (Madrid) y su influencia en las poblaciones de topillo de Cabrera (*Microtus cabrerae*)

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:

D^a Bárbara Maderuelo Delgado

Director:

D. Valentín Gómez Sanz

Tutor académico:

D. Valentín Gómez Sanz

En Madrid a 30 de octubre de 2020

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Palabras clave	2
1. Introducción	3
1.1. Justificación	6
1.2. Objetivos	7
2. Material y métodos	7
2.1. Área de estudio	7
2.2. Unidades del Paisaje	9
2.3. Métricas del paisaje	10
2.4. Análisis estadístico	12
3. Resultados	13
3.1. Patrón de las teselas y la matriz	13
3.2. Métricas a nivel de paisaje	15
3.3. Métricas a nivel de calidad de tesela	18
4. Discusión	22
4.1. Disponibilidad de hábitat	22
4.2. Conectividad estructural	23
5. Conclusiones	25
6. Bibliografía	27
7. Anexos	31
7.1. Anexo 1. Criterios de establecimiento	31

Índice de figuras:

Figura 1: Macho de topillo de Cabrera.....	4
Figura 2: Mapa de distribución de <i>Microtus cabrerae</i> en la Península Ibérica	5
Figura 3: Calidad de hábitat establecida para cada colonia de estudio	13
Figura 4: Superficies de calidad de hábitat calculadas para cada colonia	14
Figura 5: Ratio de Calidad de hábitat favorable / Calidad de hábitat desfavorable para cada colonia.....	14
Figura 6: Boxplot del índice de diversidad de Shannon.....	15
Figura 7: Boxplot del índice tamaño teselar medio	15
Figura 8: Boxplot del índice densidad de bordes.....	16
Figura 9: Boxplot del índice número de teselas.....	16
Figura 10: Gráficos del modelo de regresión lineal simple de los índices SHDI y MSI.....	17
Figura 11: Gráficos del modelo de regresión lineal simple de los índices MPS y ED.....	18
Figura 12: Gráficos de dispersión para las variables estudiadas.....	20
Figura 13: Gráficos de dispersión para las variables estudiadas.....	21

Índice de tablas:

Tabla 1: Coordenadas y superficie de las colonias de <i>Microtus cabrerae</i>	8
Tabla 2: Índices paisajísticos estudiados en el territorio, ordenados en función de la abundancia poblacional de cada colonia.....	17
Tabla 3: Valores de los índices calculados a nivel teselar para las clases de hábitat 2 y 3, separados de igual modo en función de la abundancia poblacional de cada colonia	18
Tabla 4: Valores de los índices calculados a nivel teselar para las clases de hábitat 0 y 1, separados de en función de la abundancia poblacional de cada colonia	19
Tabla 5: Valores de los índices de conectividad calculados sobre la clase de hábitat 3.	19
Anexo 2. Tabla 1: Criterios de establecimiento.....	31

Índice de mapas:

Mapa 1: Mapa de localización del área de estudio en la Comunidad de Madrid.....	8
---	---

Resumen

La ecología del paisaje estudia la distribución de los elementos paisajísticos y su efecto sobre las relaciones y procesos que se dan en los ecosistemas. Es por ello que adquiere un carácter multidisciplinar, pudiendo desarrollarse a distintas escalas. Esta disciplina, trabaja sobre dos aspectos fundamentales, la conectividad funcional, y la conectividad estructural. En nuestro caso nos centraremos en la segunda, un campo no muy desarrollado, pero igualmente importante para alcanzar la viabilidad de las poblaciones.

Determinar correctamente los objetivos y la escala de trabajo, es fundamental para analizar correctamente el paisaje y las unidades que lo conforman.

El presente estudio se desarrolla sobre una especie endémica de la península ibérica, el topillo de Cabrera (*Microtus cabrerae*). Se trata del roedor más amenazado de la península, incluido en numerosos libros rojos de fauna amenazada, tanto nacionales como europeos, y en la Directiva de Hábitat. A pesar de su nivel de amenaza, se desconocen aún muchos datos sobre su distribución real y sobre sus interacciones con el medio, determinantes para su correcta gestión.

Con el fin de aumentar los conocimientos relativos a la especie, en este trabajo se pretende evaluar la conectividad estructural de las poblaciones presentes en el Parque Regional del Curso Medio del río Guadarrama, mediante diversos índices paisajísticos, e identificar las dificultades que presenta para su dispersión.

Se estudiaron 12 colonias de topillo de Cabrera. Para cada colonia se llevó a cabo un teselado en base a los usos del suelo, en una extensión de 2Km² y una posterior clasificación del mismo en función de la calidad del hábitat, basándonos en los requerimientos de la especie.

Los análisis estadísticos realizados tanto a escala de paisaje, como a escala teselar, no mostraron ningún nivel de significancia de los índices paisajísticos estudiados con respecto a la abundancia poblacional de las colonias o a su superficie, sin embargo, se han podido extraer diversas interpretaciones acerca de los patrones de conectividad del territorio. Además, se propone una nueva metodología de estudio, teniendo en cuenta un mayor número de factores para establecer las calidades de hábitat óptimas y subóptimas, base fundamental para un correcto análisis de la conectividad estructural de cualquier especie.

Abstract

Landscape ecology studies the distribution of landscape elements and their effect on the relationships and processes that occur in ecosystems. That is why it acquires a multidisciplinary character, being able to develop at different scales. This discipline works on two fundamental aspects, functional connectivity, and structural connectivity. In our case we will focus on the second, a field not very developed, but equally important to achieve the viability of populations.

Correctly determining the objectives and the scale of work is essential to correctly analyze the landscape and the units that comprise it.

The present study is developed on an endemic species of the Iberian Peninsula, the Cabrera vole (*Microtus cabrerae*). It is the most threatened rodent on the peninsula, included in numerous red books on threatened fauna, both national and European, and in the Habitat Directive. Despite its level of threat, much information about its real distribution and its interactions with the environment are still unknown, determining for its correct management.

In order to increase the knowledge related to the species, this work aims to evaluate the structural connectivity of the populations present in the Regional Park of the Middle Course of the Guadarrama River, by means of various landscape indices, and to identify the difficulties it presents for its dispersion.

Twelve colonies of Cabrera vole were studied. For each colony, a tessellation was carried out based on the uses of the land, in an area of 2Km² and a subsequent classification of the same according to the quality of the habitat, based on the requirements of the species.

Statistical analyzes carried out both at the landscape scale and at the tessellation scale did not show any level of significance of the landscape indices studied with respect to the population abundance of the colonies or their surface, however, various interpretations have been extracted about the connectivity patterns of the territory. In addition, new study methodologies have been proposed, taking into account a greater number of factors to establish the optimal and suboptimal habitat qualities, a fundamental basis for a correct analysis of the structural connectivity of any species.

Palabras clave

Topillo de Cabrera, paisaje, conectividad, estructura, índices, hábitat

1. Introducción

El paisaje se ha definido de diversas formas a lo largo de los años, en función del contexto o de la finalidad que se quiera obtener de él. La Real Academia Española ofrece tres definiciones distintas, atendiendo a su valor estético, cultural y territorial. Sin embargo, existe una cuarta definición, la ecológica, Forman y Godron (1986) lo definieron como un “área heterogénea compuesta por un conjunto de ecosistemas que interactúan entre sí y que se repiten de manera uniforme”. Se trata, además, de una unidad superior al ecosistema, de modo que las actuaciones de conservación y restauración, supondrán el restablecimiento de la integridad ecológica, y la conservación de numerosos hábitats y especies (Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2008).

La ecología del paisaje integra el estudio de las relaciones entre los patrones espaciales del paisaje, los factores causales y los efectos sobre los procesos ecológicos (Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2006; Irastorza Vaca, 2006). De este modo obtenemos una visión multidisciplinar del paisaje, aunando ramas de conocimiento tan diversas como la biología y la ecología, con la sociología y la historia (Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2008).

Dentro de la ecología del paisaje, se pueden diferenciar dos componentes principales, el estructural y el funcional (Milena Alonso-F. et al., 2017). En ambos casos, se hace referencia a la conectividad, elemento fundamental que determina la facilidad o el impedimento que presenta el paisaje para el desplazamiento de las especies (Salido Pérez, 2013; Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2007). La conectividad estructural depende de la configuración de las teselas o elementos en el paisaje (Baguette y Van Dick, 2007), mientras que la conectividad funcional, hace referencia a cómo responden los individuos a la estructura del paisaje (Milena Alonso-F. et al., 2017), por lo tanto, dependiente de la capacidad de dispersión de cada especie.

La mayoría de los estudios llevados a cabo sobre la conectividad del paisaje, inciden sobre su aspecto funcional, tratando de facilitar la dispersión y los movimientos de las especies, mientras que la conectividad estructural queda relegada a un segundo plano, siendo de igual modo un elemento fundamental, ya que deriva de la composición y configuración del paisaje. El entendimiento de la dimensión estructural, es esencial, ya que la disposición espacial de las teselas habitables tiene una gran influencia sobre la movilidad de las especies (Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2006).

A la hora de trabajar con el paisaje, es necesario establecer las estructuras que lo conforman, las cuales, a su vez, dependen del objetivo y de la escala empleada (Priego Santander et al., 2003; Acuña Caro, 2010). Todo paisaje presenta un matriz como elemento predominante que engloba a las unidades básicas o teselas, las cuales se diferencian claramente del entorno que los rodea (Vila i Subirós et al. 2007). Finalmente, aparecen los elementos conectores o corredores, fundamentales

para el mantenimiento de poblaciones estables (Irastorza Vaca, 2006; Milena Alonso-F. et al., 2017). Adicionalmente, los sistemas naturales no presentan una frontera bien delimitada, siendo de este modo sistemas abiertos con un flujo de materia y energía constante. Es por ello que el límite del área de estudio varía en función de la especie diana, en nuestro caso, el Topillo de Cabrera.

Microtus cabreræ (Thomas, 1906) (Figura 1) es un endemismo ibérico. Este roedor pasó en 2008 a estar catalogado como “Casi amenazado” por la UICN (Fernandes et al., 2019, Pita et al., 2014) debido a su restringido rango geográfico, y su reducida área de ocupación estimada (criterio B2), todo ello ocasionado principalmente por la pérdida y fragmentación del hábitat (Pita et al., 2017, Fernández-Salvador et al., 2001).



Figura 1: Macho de topillo de Cabrera. Fuente: Garrido García, (2018).

Diversos estudios, muestran una tendencia regresiva de las poblaciones tanto a nivel local como regional (Pita et al., 2017). En España se estima que, en los últimos 10 años (Pita et al., 2014), un tercio de las poblaciones de topillo de Cabrera (Pita et al., 2017), se han visto reducidas. En la Península Ibérica su distribución está restringida a cuatro núcleos poblacionales: Luso-Carpetano (Portugal y Sistema Central), Montibérico (Sistema Ibérico y Sureste), Bético y Prepirenaico (Belenguer, 2018; Pita et al., 2014) (Figura 2).

Conocer los requerimientos ecológicos que presenta una especie, es fundamental para establecer medidas de gestión, tanto a nivel poblacional, como a nivel de paisaje, buscando obtener las mejores condiciones posibles para favorecer su mantenimiento a largo plazo, sin un manejo continuado por parte del hombre (Santos et al., 2006).

Se trata de una especie especialista (Pita et al., 2006). Habita en herbazales asociados a suelos húmedos (Luque-Larena y López, 2017), en zonas de valle o cercanas a ríos y arroyos con vegetación densa ($\approx 100\%$), con más de 30 cm de altura (Pita et al., 2017, Pita et al., 2006), y dominados principalmente por gramíneas perennes, además de plantas anuales, juncos y arbustos (Garrido-García y Soriguer, 2015). Estas formaciones proporcionan alimento durante todo el año, y protección frente a los depredadores o las temperaturas extremas (Pita et al., 2017; Luque-Larena y López, 2017; Santos et al., 2015).

En paisajes fragmentados por un aumento paulatino de las zonas agrícolas y las infraestructuras urbanas (Pita et al., 2014), las poblaciones pueden verse relegadas a zonas de acumulación de agua como las lindes de los campos y las cunetas de carreteras (Santos et al., 2006; Pita et al., 2014), donde predomina la vegetación ruderal y las gramíneas anuales. Este ambiente conformaría una matriz desfavorable a nivel de paisaje, disminuyendo la conectividad entre poblaciones (Garrido García, 2018; Pita et al., 2014), además de un hábitat subóptimo y de bajo valor nutricional (Pita et al., 2017; Valerio et al., 2020).

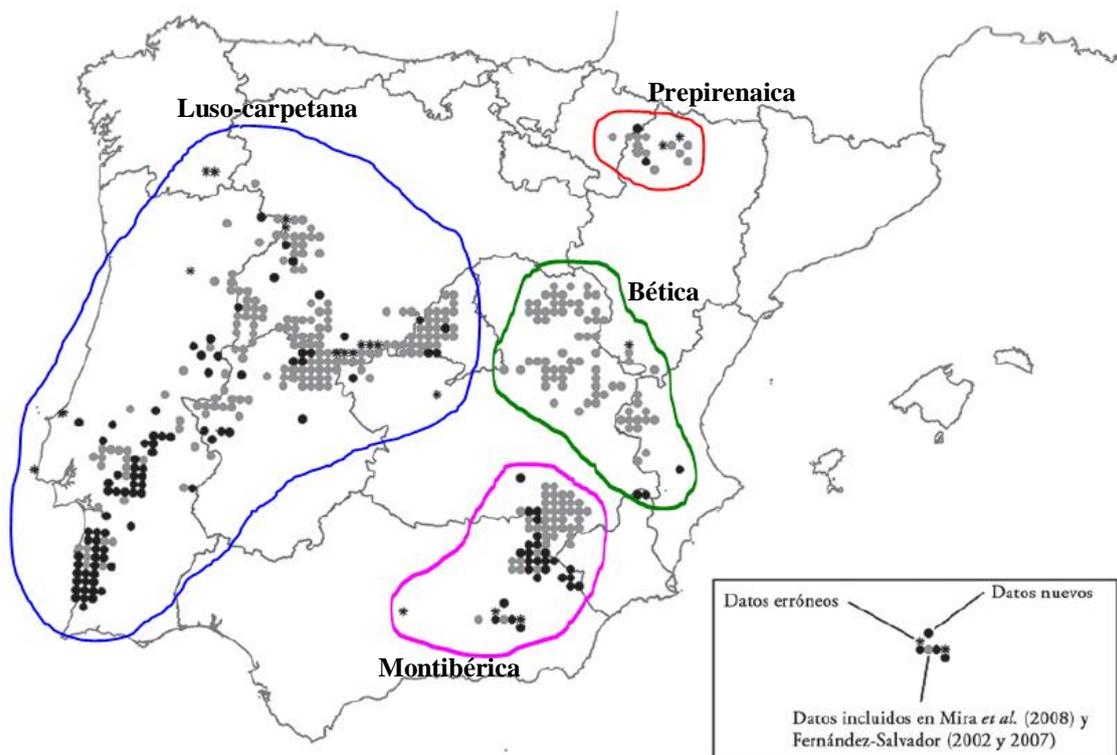


Figura 2: Mapa de distribución de *Microtus cabrerai* en la Península Ibérica. Los puntos negros representan datos nuevos; los puntos grises representan los datos obtenidos de diversas publicaciones; y los asteriscos, muestran datos erróneos. Fuente: Garrido-García et al. (2013).

Sin embargo, la presencia de determinadas especies vegetales no es el único factor que determina el establecimiento o no de las poblaciones, aunque sí uno de los más importantes, sino que, según muestra Santos et al., (2015), tanto en épocas secas (abril-junio) como húmedas (octubre-diciembre), el porcentaje de suelo desnudo y de especies arbóreas son también relevantes, teniendo ambas una correlación negativa.

Algunos autores destacan el movimiento de las poblaciones de este topillo entre los periodos secos y húmedos del año. Esto se debe a la alta probabilidad de inundaciones en zonas de hábitats óptimos durante el periodo húmedo (Pita et al., 2014), obligando a *M. cabrae* a trasladarse a zonas cuyos requerimientos pueden no ser los adecuados (Santos et al., 2015).

Pita et al., 2010, sugiere que pueden ser necesarios parches de hábitat de 500 m² aproximadamente, para garantizar la persistencia de una pareja y su descendencia, de los cuales, de 2 m² a 100 m² serían empleados como cores (Pita et al., 2014).

El estudio de los movimientos entre poblaciones de estos roedores es muy complejo y costoso (Pita et al., 2014), por ello, se han empleado modelos de ocupación en paisajes agrícolas, los cuales indican la baja probabilidad de colonización de parches vacíos distanciados a unos pocos cientos de metros desde una fuente potencial (Pita et al., 2017). Sin embargo, en parches agro-silvopastorales, hay estudios que muestran distancias de dispersión de hasta 1000m en una semana (Pita et al., 2014). Se piensa que, en estos casos, los individuos emplean parches intermedios de baja calidad, en los que permanecen cortos periodos de tiempo hasta llegar al hábitat óptimo final (Pita et al., 2017).

A escala de paisaje, es necesario tener en cuenta la distribución espacial de los parches de hábitat favorable y la matriz que los engloba, buscando aumentar la probabilidad de colonizar hábitats cercanos, evitando de ese modo, un posible aislamiento que favorezca los procesos de endogamia y extinción local. (Pita et al., 2017)

1.1. Justificación

Es el roedor ibérico más amenazado, está catalogado como “Casi Amenazado” de forma global, “Extinto en Estado Silvestre” en países cercanos como Francia, y “Vulnerable” en Portugal (SNPRCN, 2005) y España (Garrido-García et al., 2013). Además, está incluido en los anexos II y IV de la Directiva Hábitats, y en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (Belenguer, 2018).

Diversas Comunidades también lo han incluido dentro de sus Libros Rojos de fauna amenazada, como Andalucía y Aragón, donde aparece “En Peligro Crítico”, (Garrido-García et al., 2013) o la Comunidad Valenciana catalogado como “Vulnerable” (Belenguer, 2018).

De igual modo, la Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos (SECEM), creó un catálogo de Zonas Importantes para los Mamíferos (ZIM), en función de una serie de criterios técnicos establecidos por la administración. *M. cabrae*, se encuentra entre las especies con mayor valor de conservación, índice con el que se evalúa de forma objetiva y cuantitativa, qué zonas se deben designar para su conservación (Yelo et al., 2016). Este índice, se obtiene a partir del grado de endemividad y la prioridad de conservación de cada especie por su categoría

de amenaza. Actualmente, ocupa la séptima posición de un total de 100 mamíferos españoles (Belenguer, 2018).

En relación al estudio aquí descrito, decir que muchos trabajos no tienen en cuenta la calidad de la matriz, y este aspecto es fundamental, ya que afecta considerablemente a la capacidad de dispersión del topillo de Cabrera (Pita et al., 2014). Además, existen cada vez más evidencias de la influencia de la matriz en la estructura espacial de las colonias, determinando el movimiento entre poblaciones y amortiguando el impacto de los agentes externos (Pita et al., 2017). Mejorar esta conectividad estructural supondría mantener las poblaciones a largo plazo, ya que serían capaces de autorregularse. (Pita et al., 2017)

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es evaluar la conectividad estructural a escala de paisaje en el Parque Regional del Curso Medio del río Guadarrama, con el fin de identificar las dificultades que presenta para la dispersión de las poblaciones de topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ*).

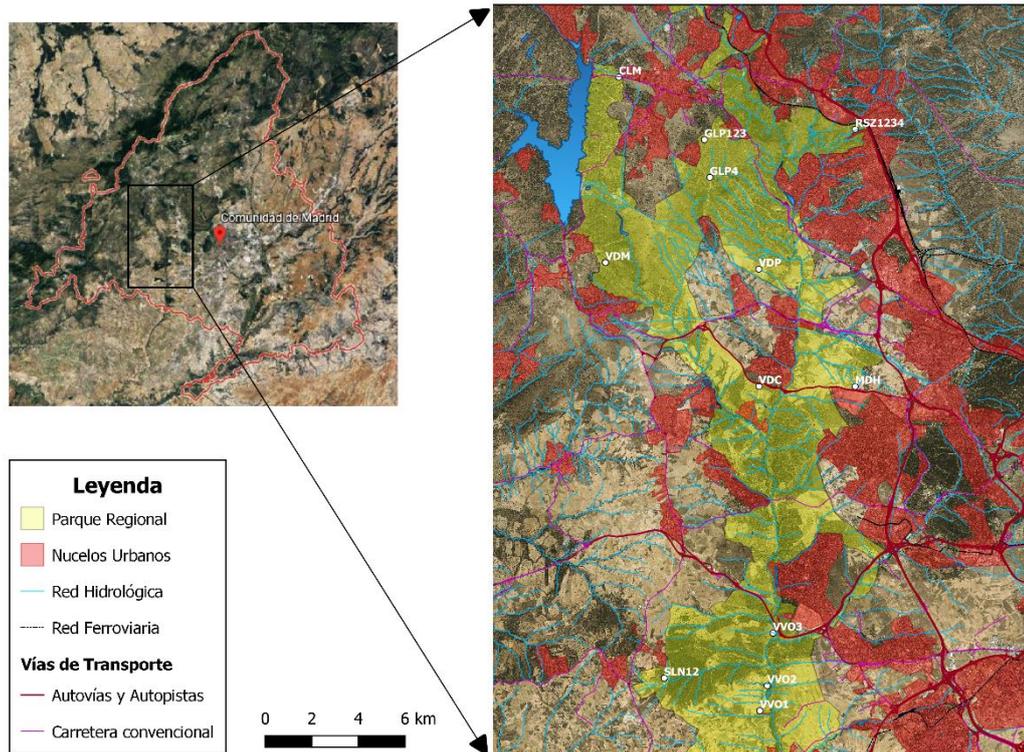
Como objetivos secundarios o específicos, podemos destacar los siguientes:

- ❖ Identificar la superficie de hábitat de buena calidad presente en el entorno de las poblaciones actuales.
- ❖ Describir las relaciones existentes entre los atributos que conforman la conectividad estructural del paisaje y la presencia de *Microtus cabreræ*, buscando potenciar estas interacciones favorables.
- ❖ Iniciar una nueva dimensión de estudio focalizada en el elemento estructural del paisaje.
- ❖ Aumentar los conocimientos relativos a la especie, actualmente escasos a pesar de su nivel de protección.

2. Material y métodos

2.1. Área de estudio y toma de datos

El presente estudio tiene lugar en el Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama, recogido dentro del Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) ES 3110005 (González Alcalde, 2018), en la Comunidad de Madrid (Mapa 1). Se analizarán 12 poblaciones cuya localización aparece reflejada en la Tabla 1, estos datos han sido obtenidos a partir del trabajo realizado por Martel Serrano (2017) junto a la Asociación Galemia, dentro de un proyecto encargado de llevar a cabo un diagnóstico del estado de las poblaciones de topillo de Cabrera a nivel nacional.



Mapa 1: Mapa de localización del área de estudio en la Comunidad de Madrid. Fuente: Elaboración propia.

Este Parque Regional ocupa una superficie de 22.116 hectáreas, abarcando 19 términos municipales. Presenta una gran heterogeneidad en cuanto a su estructura vegetal, con masas boscosas de pino piñonero (*Pinus pinea*) y encinas (*Quercus ilex*), además de bosques de ribera y cultivos de cereal. La influencia antrópica es muy elevada, no solo por las vías de comunicación que lo atraviesan, sino por la presencia de numerosos núcleos urbanos en las inmediaciones del Parque, que favorece una mayor cantidad de visitantes y por lo tanto una mayor presión sobre el sistema (González Alcalde, 2018).

Tabla 1: Coordenadas y superficie de las colonias de *Microtus cabreræ*. Fuente: Modificado de Martel Serrano (2017).

Colonia	Abundancia	Superficie (m ²)	X_ETRS89	Y_ETRS89
VDC	Media-Baja	643	418.956	4.479.107
SLN12	Alta	6361	414.883	4.466.503
MDH	Media-Baja	1158	423.077	4.479.105
VVO1	Media-Baja	334	418.992	4.465.090
VVO2	Media-Baja	24285	419.314	4.466.171
VVO3	Media-Baja	2640	419.557	4.468.447
VDM	Alta	1085	412.365	4.484.459
VDP	Alta	1831	418.948	4.484.177
GLP123	Media-Baja	2611	416.613	4.489.771
GLP4	Media-Baja	299	416.846	4.488.140
RSZ1234	Alta	1794	423.087	4.490.222
CLM	Alta	1093	412.938	4.492.478

Para la toma de datos poblacionales, Martel Serrano (2017), elaboró fichas descriptivas de cada colonia en las cuales se detallaba información correspondiente a las observaciones llevadas a cabo sobre la vegetación (abundancia de especies principalmente herbáceas, además de arbustivas y arbóreas) y el número de indicios de topillo de Cabrera encontrados, fundamentalmente pasillos en superficie, ya que tienden a emplear siempre los mismos y se puede estimar a simple vista si se encuentran en uso o están abandonados; letrinas, presentes en el interior de los carriles antes mencionados, en función de su coloración, se puede determinar su antigüedad; restos herbáceos con signos de depredación, representa tanto la alimentación de la especie como el mantenimiento de sus colonias saneadas.

La determinación final de la abundancia poblacional, se llevó a cabo mediante una ponderación de los valores de abundancia de rastros y del estado de los mismos, obteniendo como resultado un rango de valores correspondiente a un grado de abundancia “baja” (4-7), abundancia “media” (8-10) y abundancia “alta” (11-14).

2.2. Unidades del Paisaje

Los datos de posicionamiento, superficie y la abundancia poblacional de cada colonia (Tabla 1), se han extraído igualmente del estudio de Martel Serrano (2017) en colaboración con la Asociación Galemia.

Una vez situadas las colonias, se ha establecido un área de estudio de 2 Km² para cada colonia, en base a los datos de movilidad y capacidad de dispersión de la especie, definidos en los estudios llevados a cabo por Pita et al., (2014) y (2017). Es por ello que, en colonias próximas entre sí, con posible solapamiento de áreas de estudio, se ha decidido unificar los datos en una única colonia a través del sistema de coordenadas medias, sobre la cual se han calculado las métricas del paisaje correspondientes.

Como unidad básica de análisis o tesela, se han seleccionado los usos del suelo propuestos en la cartografía del sistema SIOSE 2014 (Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España) (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, s.f.), a través del programa de procesamiento geoespacial ArcMap. La decisión de emplear el sistema SIOSE, es debido a su nivel de detalle, mayor que el ofrecido por otros sistemas como el Corine Land Cover.

Posteriormente, se llevó a cabo una reclasificación de los usos propuestos en la base de datos SIOSE, con el fin de unificar las teselas en función de su uso dominante. Esto nos ha permitido establecer la clasificación final, basada en la calidad de hábitat presente en cada tesela. Esta última clasificación está fundamentada en las preferencias de hábitat de la especie estudiadas en la bibliografía, donde destacan como hábitat favorable las zonas de pastizal herbáceo, cercanas a cursos de agua o zonas húmedas (Pita et al., 2017; Pita et al., 2006; Luque-Larena y López, 2017; Santos et al., 2015), y como hábitat de calidad secundario aquellas no clasificadas como pastizal,

pero que sí mantienen una superficie mayoritaria de pastos. Las teselas de hábitat no favorable, se corresponden con aquellas que presentan vegetación natural asociada a infraestructuras antrópicas, cultivos o una menor superficie de pastos que de otras categorías. Finalmente, las teselas desfavorables son aquellas que presentan mayoritariamente elementos antrópicos o suelos desnudos (Santos et al., 2015). En el Anexo 1, se detalla la clasificación establecida.

2.3. Métricas del paisaje

Para este estudio, se seleccionaron los índices paisajísticos detallados a continuación. Estos, se han calculado a nivel de paisaje y de tesela, para cada una de las colonias definidas. Para el cálculo se utilizó la extensión Patch Analyst del programa ArcMap, con la cual se puede realizar un análisis Fragstats (Mcgarigal y Marks, 1995):

- Riqueza teselar (M) → Índice de heterogeneidad. Indica el número total de clases teselares (Inkoom et al., 2018)
- Abundancia relativa (P_k) → Índice de heterogeneidad. Representa la proporción o grado de presencia de una clase teselar en el conjunto del paisaje. Se expresa en porcentaje y se calcula dividiendo el sumatorio de las superficies de una clase teselar, entre la superficie total del área de estudio. En nuestro caso, hacemos referencia a él como la proporción de cada clase (p_k).

$$p_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} a_{(k)i}}{TA}$$

- Índice de diversidad de Shannon (SHDI) → Índice de heterogeneidad. Refleja la diversidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de clases presentes y su abundancia relativa. Toma el valor de 0 cuando el paisaje contiene solo un parche, y aumenta a medida que existen diferentes tipos de teselas (Pla, 2006; Milena Alonso-F. et al., 2017; Garcia-Feced et al., 2008; Acuña Caro, 2010).

$$SHDI = -\sum_{k=1}^M [p_k \cdot \ln(p_k)]$$

- Número de teselas (NP) → Índice de subdivisión. Se puede expresar tanto a nivel de paisaje, como de clase teselar (Marín Valencia et al., 2008; Vila i Subirós et al., 2007).

$$NP = \sum_{k=1}^M n_k$$

- Tamaño Teselar medio (MPS) → Índice de subdivisión. Es igual a la superficie total del paisaje, dividida por el número total de teselas. Se expresa en hectáreas o metros cuadrados, y puede calcularse tanto a escala de paisaje, como de clases teselares (Mcgarigal y Marks, 1995).

$$MPS = \frac{TA}{NP}$$

- Densidad de bordes (ED) → Índice de complejidad de forma. Relación entre la longitud total de bordes y el área total del paisaje. Se expresa en metros por hectárea (Vila i Subirós et al., 2007; Inkoom et al., 2018)

$$ED = \frac{\sum_{i=1}^{NP} e_i}{TA}$$

- Índice de forma medio (MSI) → Índice de complejidad de forma. Se calcula dividiendo el ratio perímetro-área teselar entre el número total de teselas. Es igual a 1 cuando todos los parches son iguales en forma y aumenta al aumentar la irregularidad del parche (García-Feced et al., 2008).

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^{NP} par_i}{NP}$$

- Contagio → Índice de fragmentación. Indica la longitud de contacto entre dos teselas de distinta clase. Captura aspectos de la composición y configuración del paisaje (Milena Alonso-F. et al., 2017; Inkoom et al., 2018; García Velázquez, 1998).

- Adyacencia → Hace referencia al grado de mezcla entre teselas de diferentes tipos. Es necesario crear previamente una matriz de adyacencias que refleje las proporciones de frontera entre los distintos tipos teselares. Se calcula multiplicando la abundancia relativa por el contagio, dividido todo ello por la longitud de frontera de la clase teselar de estudio.

$$a_{kl} = \frac{p_k \cdot f_{kl}}{f_k}$$

- Contraste → Hace referencia al contacto directo y la diferencia relativa respecto de las teselas adyacentes. Se ha calculado mediante el sumatorio de la longitud del perímetro de contacto con teselas de distintas clases ponderada por la calidad teselar, dividido por el sumatorio de las longitudes de contacto (Vila i Subirós et al., 2007; Inkoom et al., 2018).

$$C = \frac{\sum l_i \cdot Cl}{\sum l_n}$$

Además de los índices del paisaje seleccionados, se han extraído también para su estudio datos sobre la superficie de cada clase de calidad de hábitat (sC), el tamaño teselar del parche favorable de mayor tamaño (smTF), el ratio de hábitat favorable / no favorable (pC2-3/pC0-1) y la tasa de ocupación de cada calidad en el paisaje.

2.4. Análisis estadístico

Antes del análisis estadístico correspondiente, se llevó a cabo un estudio de la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Inkoom et al., 2018). Aquellas variables que resultaron asimétricas se transformaron mediante logaritmos (Ln o Log₁₀) o por la transformación $y = 1/x$, en función de la asimetría observada.

Seguidamente, se han realizado diagramas de cajas y bigotes o boxplot, para conocer la distribución de los datos en cada variable (Puzin, y Pétilon, 2019).

Una vez realizado este estudio general de los datos, se compararon las medidas mediante un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de observar si las métricas calculadas influyen en la abundancia poblacional de las colonias de *Microtus cabreræ* (Inkoom et al., 2018), factor que se ha dividido en abundancia “Alta” y abundancia “Media-Baja”. En el caso del estudio a escala de paisaje, el análisis se ha llevado a cabo sobre los índices SHDI, NP, MPS, ED y MSI, mientras que en el estudio a escala de clase teselar, los índices analizados fueron NP, MPS y MSI para cada categoría establecida, la variable de Tamaño de tesela favorable más grande (smTF), el ratio de calidad de hábitat y los índices de conectividad Contagio, Contraste y Adyacencia. Se considerará significativo si $p\text{-valor} < 0,05$.

Por otro lado, se han realizado regresiones lineares buscando establecer correlaciones entre las variables seleccionadas y la superficie de las colonias. Las variables analizadas a escala de paisaje son las mismas que en el caso anterior, mientras que a escala de calidad teselar, se han empleado los valores de contraste, proporción de hábitat de calidad 3 (pC3) y el ratio de calidad de hábitat (pC2-3/pC0-1), índice MSI, y los sumatorios de los datos de adyacencia y contagio para las calidades 2 y 3.

3. Resultados

3.1. Patrón de las teselas y la matriz

En los buffers de estudio establecidos para cada colonia, se encontraron en el conjunto de las 12 poblaciones un total de 73 teselas de hábitat de calidad buena o muy buena, de las 425 teselas estudiadas (Figura 3), lo cual indica un 17,18% de hábitat adecuado para la especie, y, por lo tanto, un 82,82% de parches de hábitat inadecuado, conformando una matriz hostil para la dispersión del topillo de Cabrera.

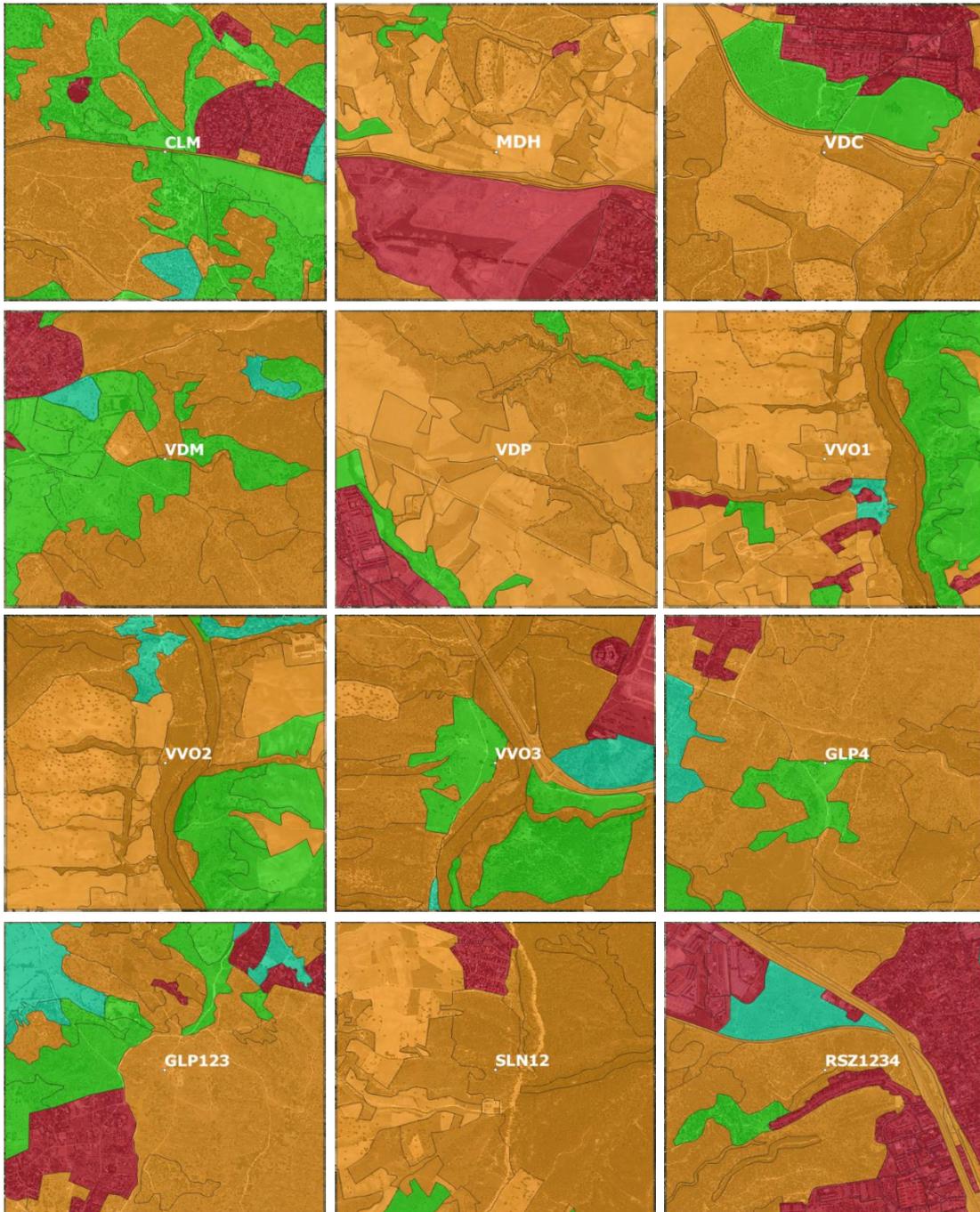


Figura 3: Calidad de hábitat establecida para cada colonia de estudio. Rojo → Muy mala calidad; Naranja → Mala calidad; Azul → Buena calidad; Verde → Muy buena calidad. Fuente: elaboración propia

En este sentido, a partir de la clasificación de calidad establecida, y mediante la calculadora de campos de ArcMap, se estimaron las superficies de cada categoría de calidad, para cada colonia, representadas en la figura 4.

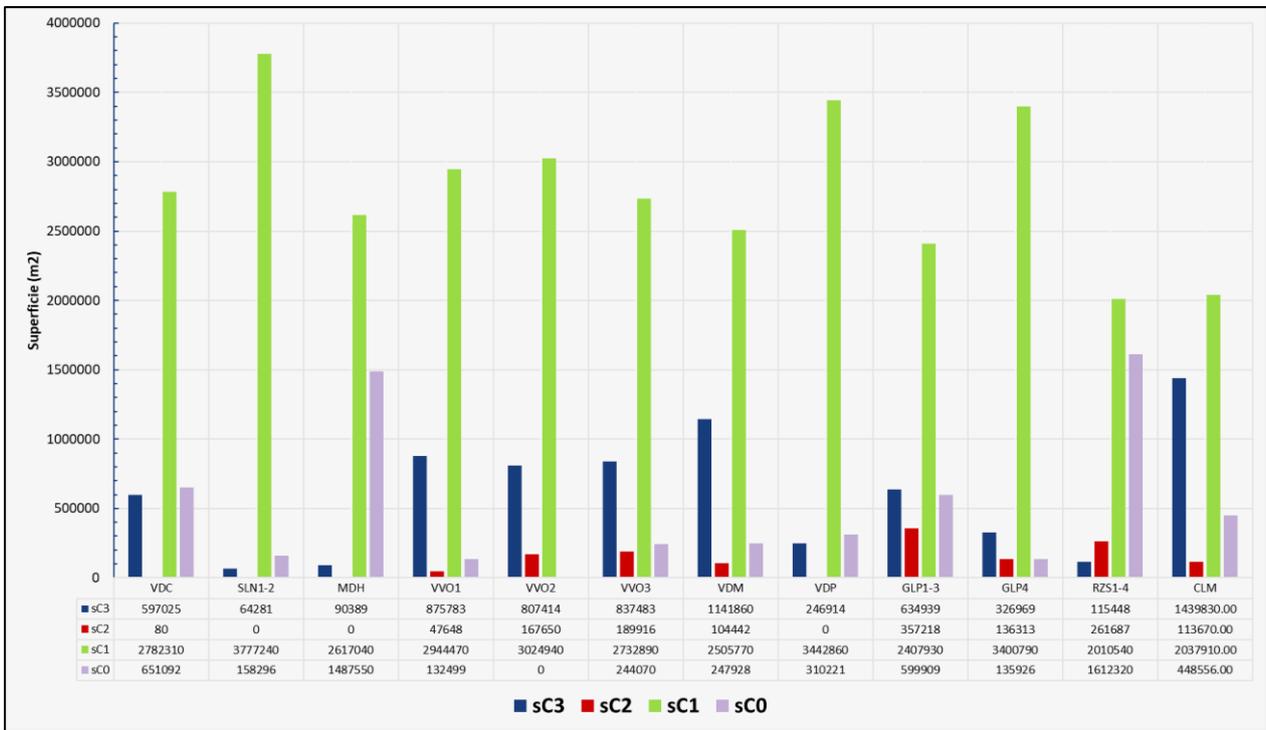


Figura 4: Superficies de calidad de hábitat calculadas para cada colonia. Fuente: elaboración propia.

Para concluir este apartado, se calcularon las proporciones de calidad de hábitat en cada colonia estudiada, y se elaboró un ratio de idoneidad de hábitat ($pC2-3/pC0-1$) (Figura 5).

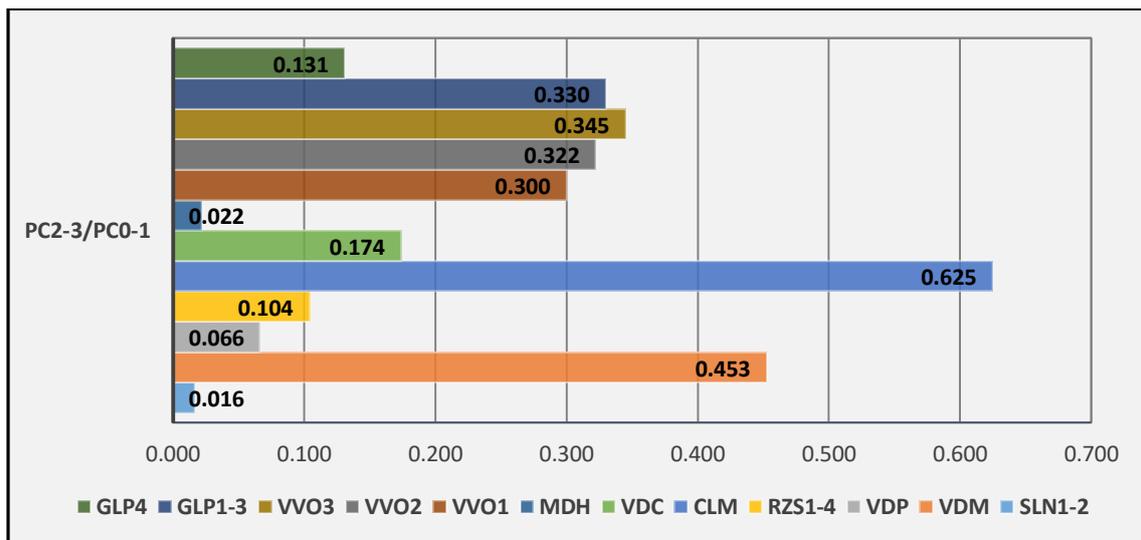


Figura 5: Ratio de Calidad de hábitat favorable / Calidad de hábitat desfavorable para cada colonia. Fuente: elaboración propia.

3.2. Métricas a nivel de paisaje

A fin de conocer mejor la distribución de nuestros datos, se han llevado a cabo diagramas boxplot para cada variable. En la figura 6 se observa que en ambos casos la mediana está desplazada hacia el borde superior, además los datos correspondientes a la calidad media-baja tienen una mayor amplitud que en el caso de calidad alta. No se observan valores atípicos.

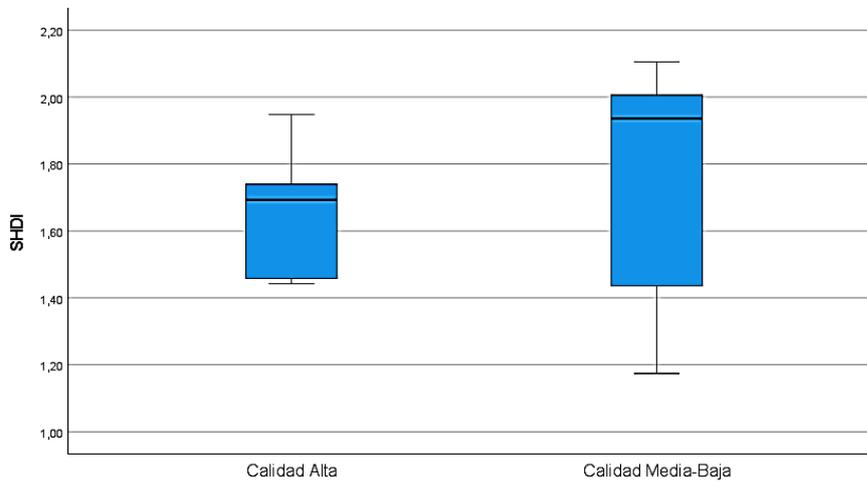


Figura 6: Boxplot del índice de diversidad de Shannon.

De igual modo, la figura 7 muestra la reducida amplitud de los datos, hecho que se acentúa en la calidad alta, donde prácticamente no se observan bigotes. En este caso, además, aparecen dos valores atípicos, uno por encima y otro por debajo, representando teselas anormalmente grandes y anormalmente pequeñas. En el caso de calidad media-baja también se da un dato anormalmente grande.

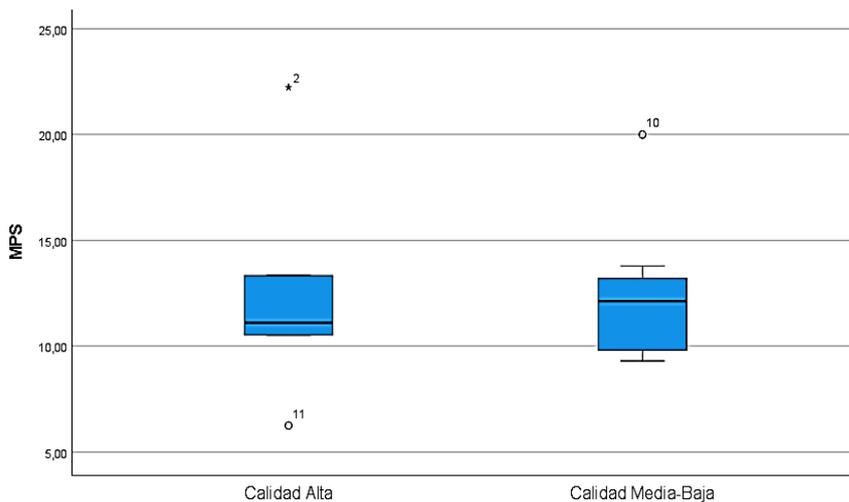


Figura 7: Boxplot del índice tamaño teselar medio.

En figura 8, al igual que en el primer gráfico, la mediana está desplazada hacia el borde superior. En ambos casos la distribución de los datos es similar, con el detalle de que la calidad media baja presenta unos valores máximos y mínimos mayores.

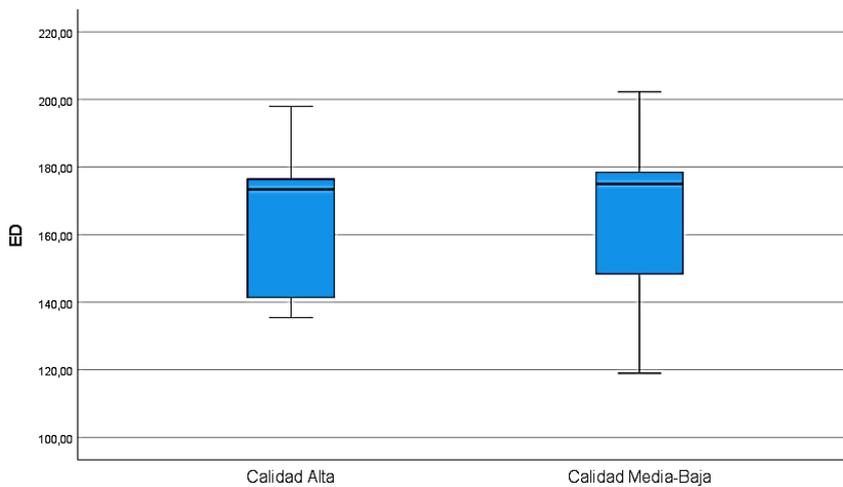


Figura 8: Boxplot del índice densidad de bordes.

Finalmente, en la figura 9, la mediana de calidad alta está desplazada hacia el borde superior mientras que la de calidad media baja está desplazada hacia el borde inferior. En ambos casos los valores que marcan el límite inferior son más amplios que los que marcan el límite superior, y los datos de calidad alta, muestra un valor anormalmente alto.

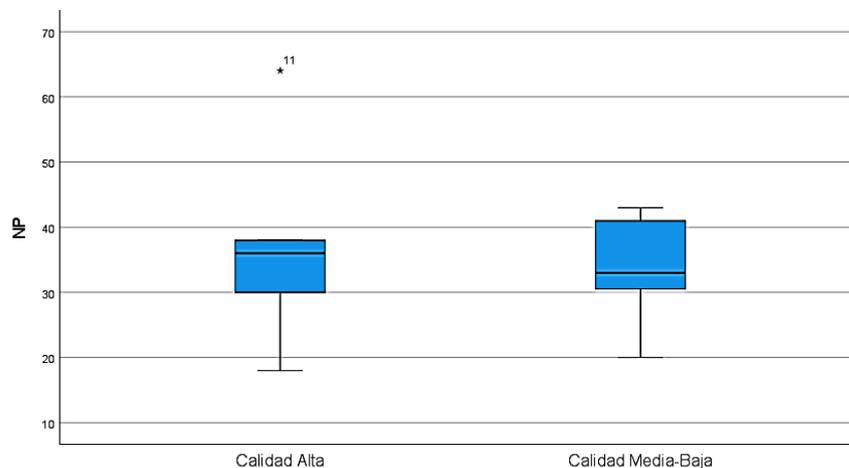


Figura 9: Boxplot del índice número de teselas.

En cuanto a sus valores numéricos, se presentan en la tabla 2, calculados como hemos comentado anteriormente a través de la extensión Patch Analyst de ArcMap. Los resultados del análisis ANOVA efectuado sobre estas variables, no muestran ninguna relación o significancia entre los índices y la abundancia poblacional de las colonias, siendo en todos los casos el p-valor superior a 0,05.

Tabla 2: Índices paisajísticos estudiados en el territorio, ordenados en función de la abundancia poblacional de cada colonia.

Colonia	Abundancia	SHDI	NP	MPS	ED	MSI
SLN _{1,2}	Alta	1.458	18	22.22	135.50	2.028
VDM	Alta	1.443	30	13.33	141.41	1.659
VDP	Alta	1.693	36	11.11	176.47	1.837
RZS _{1,2,3,4}	Alta	1.740	64	6.25	197.98	1.735
CLM	Alta	1.948	38	10.53	173.43	1.853
VDC	Media-Baja	2.061	43	9.37	175.02	1.885
MDH	Media-Baja	1.594	32	12.62	178.15	2.259
VVO ₁	Media-Baja	2.105	43	9.30	202.27	1.857
VVO ₂	Media-Baja	1.952	33	12.12	178.82	1.979
VVO ₃	Media-Baja	1.936	39	10.26	160.37	1.643
GLP _{1,2,3}	Media-Baja	1.277	29	13.79	136.35	1.716
GLP ₄	Media-Baja	1.174	20	20.00	118.98	1.760

Por otro lado, se ha tratado también de establecer la relación de los índices de paisaje con la variable continua de superficie de cada colonia. Para ello, se ha planteado un modelo de regresión lineal simple que nos permita extraer información de forma clara y concisa (Figura 10; Figura 11).

En este punto, los valores del coeficiente de determinación (R^2) son muy bajos, de modo que no se puede establecer con estos parámetros una correlación entre las variables.

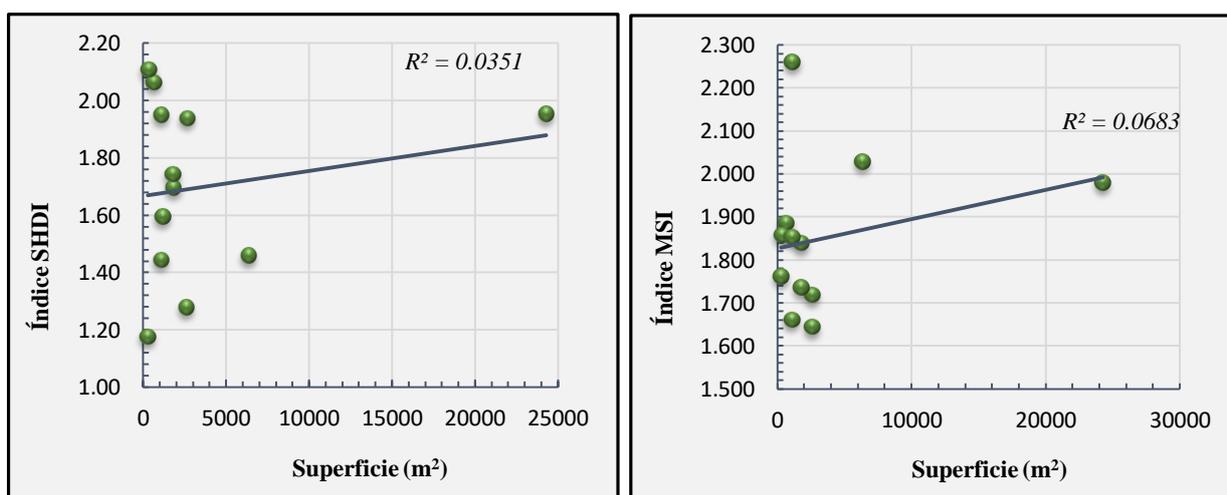


Figura 10: Gráficos del modelo de regresión lineal simple de los índices SHDI y MSI. En ambos casos se presenta la recta de ajuste y el valor que adquiere R^2 .

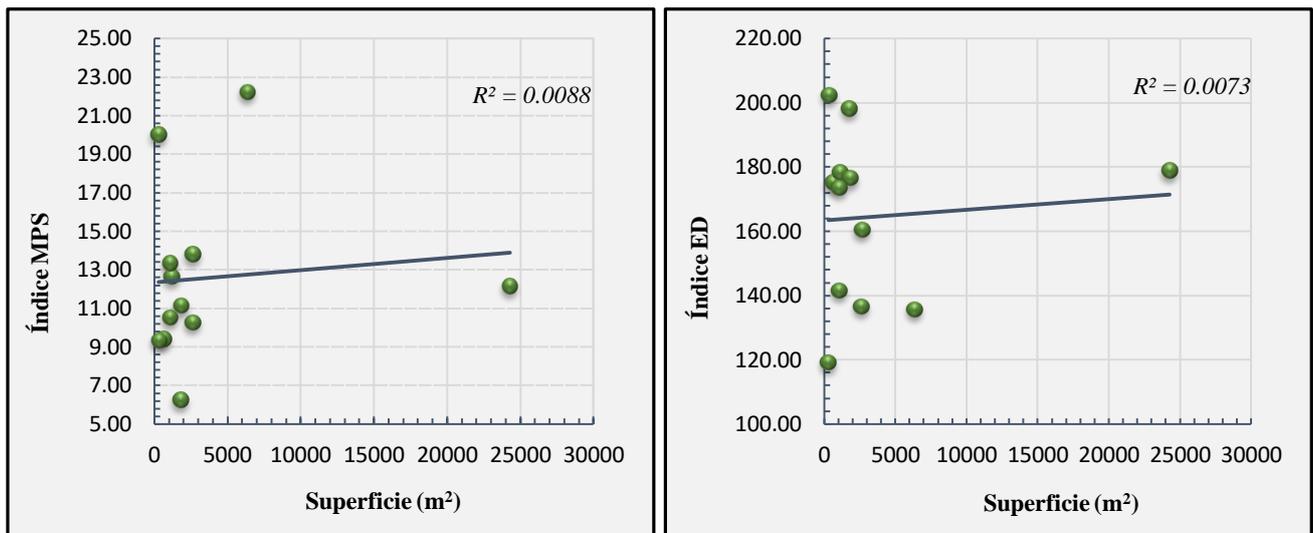


Figura 11: Gráficos del modelo de regresión lineal simple de los índices MPS y ED. En ambos casos se presenta la recta de ajuste y el valor que adquiere R^2 .

3.3. Métricas a nivel de calidad de tesela

En el caso del estudio centrado en las teselas, se emplearon tres de los índices descritos anteriormente, el número de teselas (NP), el índice de forma medio (MSI) y el tamaño teselar medio (MPS) (Tabla 3; Tabla 4).

Se llevó a cabo nuevamente un análisis ANOVA, empleando como factor la abundancia poblacional. De igual forma, no se estableció una variabilidad significativa entre las clases de abundancia “Alta” y “Media-Baja”, para cada calidad de hábitat.

Tabla 3: Valores de los índices calculados a nivel teselar para las clases de hábitat 2 y 3, separados de igual modo en función de la abundancia poblacional de cada colonia.

Colonia	Abundancia	NP _(c3)	MPS _(c3)	MSI _(c3)	NP _(c2)	MPS _(c2)	MSI _(c2)
SLN _{1,2}	Alta	2	32140.53	1.383	0	0.00	0.000
VDM	Alta	9	126872.99	1.747	2	52221.24	1.475
VDP	Alta	4	61728.59	1.900	0	0.00	0.000
RZS _{1,2,3,4}	Alta	1	115447.56	1.818	2	130843.37	1.748
CLM	Alta	12	119985.86	2.034	2	56834.98	1.518
VDC	Media-Baja	2	298512.51	1.320	1	79.91	1.722
MDH	Media-Baja	3	30129.68	1.653	0	0.00	0.000
VVO ₁	Media-Baja	5	175156.62	2.050	1	47247.59	2.046
VVO ₂	Media-Baja	5	161482.86	1.877	2	83825.18	2.040
VVO ₃	Media-Baja	4	209370.65	1.746	2	92458.11	1.348
GLP _{1,2,3}	Media-Baja	7	90705.58	1.705	4	89304.45	1.923
GLP ₄	Media-Baja	3	108989.79	1.676	1	136312.77	1.993

Tabla 4: Valores de los índices calculados a nivel teselar para las clases de hábitat 0 y 1, separados de en función de la abundancia poblacional de cada colonia.

Colonia	Abundancia	NP _(c1)	MPS _(c1)	MSI _(c1)	NP _(c0)	MPS _(c0)	MSI _(c0)
SLN _{1,2}	Alta	14	269815.93	2.199	2	79147.93	1.479
VDM	Alta	16	156610.79	1.704	3	82642.67	1.284
VDP	Alta	20	172143.23	2.091	12	25851.75	1.392
RZS _{1,2,3,4}	Alta	22	91388.26	2.271	39	41341.64	1.430
CLM	Alta	19	107258.90	1.920	5	81716.11	1.297
VDC	Media-Baja	26	107011.99	2.161	14	46506.55	1.465
MDH	Media-Baja	23	106953.26	2.560	6	247924.93	1.409
VVO ₁	Media-Baja	31	94982.92	1.901	6	22083.15	1.438
VVO ₂	Media-Baja	26	116343.67	1.993	0	0.00	0.000
VVO ₃	Media-Baja	30	91096.47	1.690	3	81569.02	1.234
GLP _{1,2,3}	Media-Baja	13	185225.73	1.708	5	119981.72	1.589
GLP ₄	Media-Baja	15	226719.44	1.756	1	135926.25	1.849

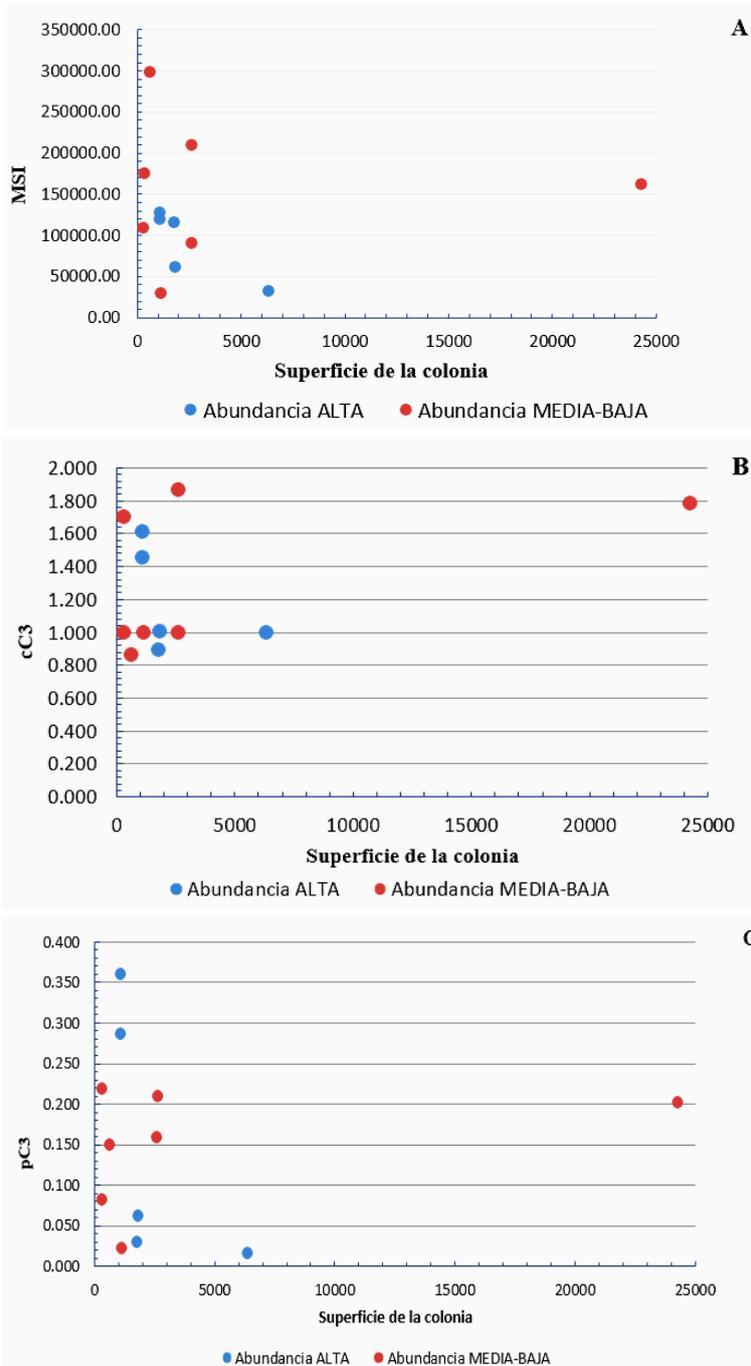
De forma adicional, se evaluaron también los valores de los índices de adyacencia (ad), contraste (ct) y contagio (cg) (Tabla 5), componentes fundamentales de la conectividad estructural, además del mayor tamaño de tesela favorable (smTF). Al igual que en análisis anteriores, los resultados tampoco fueron significativos, con los p-valor correspondientes, superiores a 0,05.

Tabla 5: Valores de los índices de conectividad calculados sobre la clase de hábitat 3.

Colonia	Abundancia	ctC3	ctC2	Ad 3-0	Ad 3-1	Ad 3-2	cg3-0	cg3-1	cg3-2	smTF
SLN _{1,2}	Alta	1.000	0.00	0.000	0.008	0.000	0.00	1205.94	0.00	62756
VDM	Alta	1.607	2.012	0.008	0.098	0.015	746.40	8716.65	1310.39	317830
VDP	Alta	1.005	0.00	0.006	0.024	0.000	1172.07	4781.87	0.00	128253
RZS _{1,2,3,4}	Alta	0.894	0.296	0.002	0.013	0.000	232.85	1956.65	0.00	115448
CLM	Alta	1.452	0.819	0.016	0.138	0.001	2069.49	17730.86	178.56	406661
VDC	Media-Baja	0.859	1.000	0.029	0.041	0.000	1866.92	2669.22	0.00	349789
MDH	Media-Baja	1.000	0.00	0.000	0.011	0.000	0.00	2425.90	0.00	60092
VVO ₁	Media-Baja	1.699	0.563	0.004	0.059	0.000	344.56	5236.15	0.00	485196
VVO ₂	Media-Baja	1.779	1.131	0.000	0.066	0.002	0.00	5403.42	180.21	352891
VVO ₃	Media-Baja	1.000	0.847	0.000	0.105	0.000	0.00	9826.76	0.00	244070
GLP _{1,2,3}	Media-Baja	1.865	1.295	0.012	0.039	0.008	1294.15	4143.49	879.25	269206
GLP ₄	Media-Baja	1.000	1.000	0.000	0.041	0.000	0.00	5201.52	0.00	258140

El análisis de varianzas se llevó también a cabo para el ratio de calidad de hábitat (pC2-3/pC0-1). De igual modo, no se obtuvo significancia alguna.

En otro orden de ideas, con el propósito de determinar si existe relación entre las teselas de calidad “muy buena” y la superficie ocupada por cada colonia, se ha empleado nuevamente el modelo de regresión simple. En este sentido, determinar si en nuestra zona de estudio existe una relación entre alguno de los atributos de las teselas favorables y la superficie ocupada por las poblaciones de topillo, puede ser fundamental para establecer medidas que potencien este hecho.



Para ello, se ha contrapuesto la superficie ocupada por cada colonia a las variables de tamaño teselar medio (MSI), tasa de ocupación de calidad de hábitat 3 (pC3), contraste (cC3) (Figura 12), además de los sumatorios de los valores de calidad de hábitat 2 y 3 para los índices de adyacencia y contagio (Figura 13).

Al igual que en los análisis previos, no se observa dependencia entre las variables propuestas.

Figura 12: Gráficos de dispersión para las variables estudiadas. A: Tamaño teselar medio de las teselas de calidad 3; B: contraste con teselas de otras categorías; C: proporción de teselas de calidad 3 en el territorio. Fuente: elaboración propia.

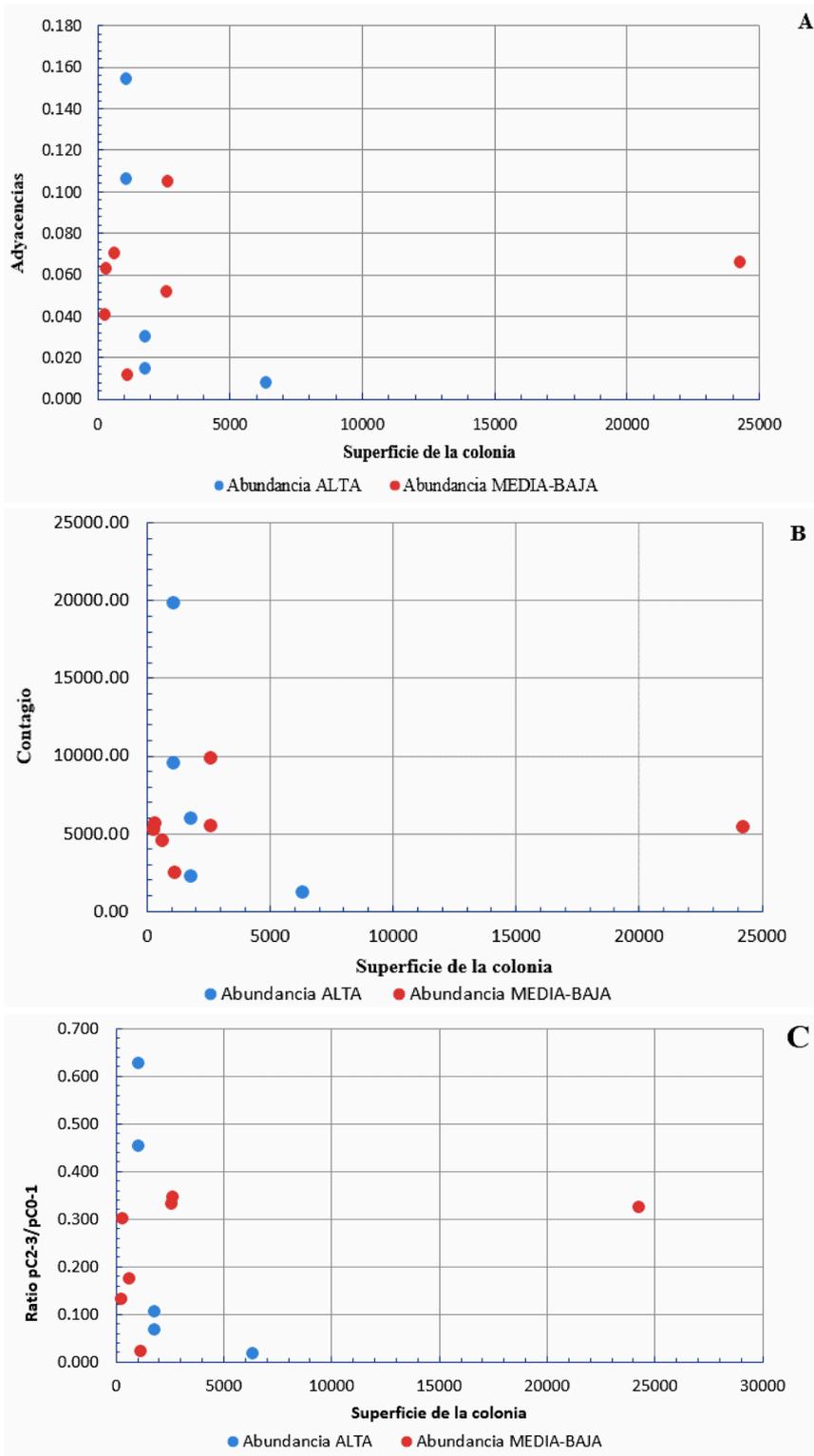


Figura 13: Gráficos de dispersión para las variables estudiadas. A: Sumatorio de los valores de adyacencia de las clases de calidad 2 y 3; B: sumatorio de las superficies de contagio de las clases de calidad 2 y 3. C: Ratio de calidad de hábitat. Fuente: elaboración propia.

4. Discusión

Desde hace una década aproximadamente, el conocimiento sobre esta especie ha aumentado de forma considerable, sin embargo, sigue sin existir una estimación actualizada del estado de sus poblaciones en la península (Garrido-García et al., 2013). Diversos grupos de investigación o asociaciones, como la Asociación Galemia, cuyo estudio nos ha servido como base, están empleando numerosos recursos para alcanzar el objetivo de tener un amplio entendimiento sobre su distribución en base al comportamiento y las relaciones que establece con el medio, a fin de desarrollar medidas que aseguren su conservación en el tiempo (Pita et al., 2017; Santos et al., 2006).

En esta dirección, con este estudio se pretendía evaluar la influencia de la conectividad estructural en las poblaciones de *Microtus caberae* en el Parque Regional del Curso Medio del río Guadarrama a través de diferentes métricas del paisaje, las cuales nos proporcionan información sobre su complejidad, fragmentación o heterogeneidad.

4.1. Disponibilidad de hábitat

Las características definitorias del hábitat óptimo para el topillo de Cabrera, se basan principalmente en la vegetación existente además de la presencia de zonas húmedas cercanas (Garrido-García y Soriguer, 2015; Pita et al., 2017; Luque-Larena y López, 2017), por ello los pastos y las zonas de mosaico de vegetación natural con escasas masas boscosas (Santos et al., 2015), se clasificaron como “muy buenas”, mientras que aquellas áreas mayoritariamente antrópicas se catalogaron como “muy malas”.

En base a los resultados obtenidos, la figura 4 muestra la escasa presencia de hábitats de calidad óptima para la especie, tan sólo 7,18 Km² de los 48 Km² estudiados presentan un hábitat adecuado. Un hecho causado principalmente por la alta transformación y fragmentación del hábitat a causa del aumento exponencial de las superficies de uso antrópico que ha tenido el territorio, siendo esta una de sus principales amenazas (Belenguer, 2018; Pita et al., 2014). Las zonas rojas y naranjas presentes en la figura 3, correspondientes a las categorías de “Muy malo” y “Malo” respectivamente, son mayoritarias.

Las poblaciones que presentan un mayor ratio de calidad de hábitat favorable son CLM y VDM, con un 65,5% y un 45,3% respectivamente (Figura 5), mientras que el resto de colonias presentan valores inferiores al 35%. Estos datos concuerdan con la idea de la presencia de valores medios ligeramente superiores en las colonias con mayor abundancia poblacional ($\bar{X}_{abundante} = 0.25$; $\bar{X}_{media-baja} = 0.23$), lo que puede indicar alguna preferencia por los tipos de uso y cubierta considerados de calidad buena o muy buena para la especie.

No obstante, el grado de relación no es especialmente alto (las correlaciones con el tamaño de las colonias presentes en el gráfico C de la figura 13 son muy bajas) lo cual nos lleva a pensar que el tipo de uso y cubierta no es el único atributo del paisaje que determina las preferencias de hábitat de la especie.

4.2. Conectividad estructural

Los resultados del análisis ANOVA llevados a cabo sobre los índices, tanto a nivel de paisaje, como de calidad de tesela, no nos permiten establecer una relación clara de dependencia entre los índices de conectividad estructural analizados y una mayor presencia o ausencia de individuos de *Microtus cabreræ* en las colonias.

De igual modo, tampoco se han obtenido resultados de los modelos de regresión, donde no se observaba relación alguna entre la superficie de las colonias y los índices propuestos.

Sin embargo, podemos tratar de extraer cierta información. En primer lugar, el índice MPS o tamaño teselar medio de las teselas clasificadas como hábitat inadecuado o muy malo (0), refleja unos tamaños muy superiores en las colonias de ocupación media/baja ($\bar{X}_{\text{abundante}} = 62140.02 \text{ m}^2$; $\bar{X}_{\text{media-baja}} = 93427.38 \text{ m}^2$). Esta categoría destaca por la predominancia de usos con elevada presencia y transformación humana, es por ello que se puede concebir la idea de que la especie trata de evitar estas condiciones de hábitat.

Analizando detenidamente los resultados de los índices de contagio y contraste, podemos establecer una relación entre ambos, y es que, el contagio total medio toma mayores valores en las colonias de abundancia alta ($\bar{X}_{\text{abundante}} = 18084.25$; $\bar{X}_{\text{media-baja}} = 13905.89$), mientras que los valores medios de contraste, tanto de teselas de calidad 3 como de calidad 2, son mayores en las colonias de abundancia media-baja (Calidad 3: $\bar{X}_{\text{abundante}} = 1.19$; $\bar{X}_{\text{media-baja}} = 1.31$) (Calidad 2: $\bar{X}_{\text{abundante}} = 0.63$; $\bar{X}_{\text{media-baja}} = 0.83$). Un mayor contagio de las teselas con abundancia alta supone que tienen más posibilidades de dispersión y por lo tanto una mayor conectividad. Por contra, las teselas de buena calidad (2 y 3) de las colonias con abundancia media-baja, tienen un mayor contraste, lo cual supone cierto grado de aislamiento y por tanto una reducción en la conectividad.

En este sentido, se observa una mayor abundancia poblacional en las colonias que se instalan en paisajes con menores índices de diversidad de Shannon ($\bar{X}_{\text{abundante}} = 1.66$; $\bar{X}_{\text{media-baja}} = 1.73$). Esto podría ser interpretado como una cierta preferencia por paisajes estructuralmente más homogéneos, y por lo tanto, con mayor facilidad y menor riesgo para la movilidad.

Así mismo, con el propósito de determinar las posibles causas de la ausencia de datos estadísticos de relevancia, se han revisado todos los procedimientos desarrollados en este estudio, a fin de proponer una nueva metodología de trabajo.

Como base de este análisis, se tomaron los datos poblacionales y de superficies de las colonias de otro estudio, lo cual puede ser un factor de gran influencia a la hora de no haber hallado resultados significativos, y es que las estimaciones poblacionales se llevaron a cabo a través de indicios de presencia de la especie, debido a la dificultad para muestrear directamente los individuos, como se indica en Pita et al., (2014).

De igual modo, se podría llevar a cabo un estudio similar a otra escala, distinta de la que se ha decidido utilizar en este trabajo. En este escrito se han empleado los usos del suelo y cubiertas establecidos por el sistema SIOSE, una información de fácil acceso, con lo que, en el caso de haber obtenido relaciones estadísticamente significativas, hubieran sido de gran utilidad para la planificación e implantación de medidas a escala paisaje, buscando una gestión orientada a la protección y mejora de las condiciones de hábitat de la especie en el ámbito territorial analizado.

Es por ello que, se podría proponer llevar a cabo un teselado por fotointerpretación de la zona, detallando aún más las teselas de estudio y teniendo en consideración aspectos como:

las infraestructuras de transporte, elemento barrera que, al mismo tiempo, conforma un hábitat subóptimo (Santos et al., 2006; Pita et al., 2014);

la red hídrica territorial, ya que el topillo de Cabrera tiende a seleccionar las zonas húmedas, aunque no necesariamente cercanas a cursos fluviales (Luque-Larena y López, 2017);

el tipo de sustrato y la litología del territorio, factor de relevancia para el establecimiento de la vegetación y para la creación de túneles o madrigueras, que puede llegar a desarrollar el topillo de Cabrera en situaciones adversas como indica Fernández-Salvador (2007);

los movimientos estacionales de la especie que se producen entre los periodos secos y húmedos del año, debido a la alta probabilidad de inundaciones en zonas de hábitats óptimos en los meses más húmedos (Pita et al., 2014), obligando a *M. cabreræ* a desplazarse a territorios de baja calidad (Santos et al., 2015);

y finalmente, los modelos de cambio climático, ya que las variaciones en los patrones de precipitación (Pita et al., 2014), haciendo que sean cada vez más escasas, y concentradas en eventos torrenciales, hacen que la disponibilidad de hábitat sea cada vez menor. Los modelos proyectan una reducción en la distribución de *Microtus cabreræ* del 67% - 72% en 2041-2070 (Belenguer, 2018). Todo ello sugiere que las poblaciones no solo se ven afectadas por la dinámica dentro del hábitat, sino que también están influidas por factores ambientales externos, que operan a escalas superiores al paisaje, afectando al grado en que los parches de hábitat son ocupados (Pita et al., 2017).

Todo ello, supone una posible causa de los resultados obtenidos, ya que no se recogen de manera adecuada aspectos determinantes de las preferencias de hábitat de la especie (“micrositios”).

Otro punto a revisar, es el establecimiento de la clasificación de calidad de hábitat, basada fundamentalmente en la vegetación predominante y el uso del suelo asociado (Pita et al., 2017; Pita et al., 2006; Santos et al., 2006; Luque-Larena y López, 2017; Pita et al., 2014). Algunos de los factores mencionados anteriormente, como las vías de transporte o el tipo de sustrato deben tenerse también en cuenta a la hora de proponer una clasificación lo más ajustada posible a los requerimientos de la especie, ya que, como hemos comprobado, la vegetación no es el factor único que determina la calidad del hábitat.

Finalmente, las métricas escogidas si las consideramos adecuadas, al reflejar claramente los diversos atributos del paisaje, tales como su composición y heterogeneidad, en cuanto a variedad teselar se refiere; y su configuración, a través de los índices de fragmentación y conectividad.

Todos los elementos mencionados anteriormente habrán de tenerse en cuenta en futuros estudios, ya que nos permitirán llevar a cabo una aproximación más detallada al hábitat del topillo de Cabrera, y es que la dificultad de estudio que conlleva esta especie radica en determinar sus preferencias y en establecer las relaciones que mantiene con el entorno, teniendo en cuenta la reducida bibliografía al respecto. Esto sentará las bases del estudio de la conectividad estructural del topillo de Cabrera en este entorno madrileño.

5. Conclusiones

A pesar de no haber obtenido unos resultados acordes a las teorías planteadas, se han podido extraer diversas interpretaciones que, junto a la revisión bibliográfica llevada a cabo para conocer los aspectos fundamentales del topillo de Cabrera, y el estudio paisajístico de la zona, nos permiten establecer unas ideas finales:

- La conservación de este micromamífero está todavía muy lejos de lo deseable para una especie que está catalogada por su nivel de amenaza, y protegida a nivel nacional e internacional.
- La presencia de esta especie en un territorio viene determinada por numerosos factores, siendo uno de los más importantes la vegetación, fuente de hábitat y alimento, pero no el único, ya que los “micrositios” derivados de la red de drenaje, la variedad de sustratos litológicos o de diferentes posiciones fisiográficas, son también relevantes.
- A pesar de la presencia de un ratio de hábitat de calidad favorable ligeramente superior en poblaciones con abundancia alta, las correlaciones llevadas a cabo con la superficie de las colonias, nos indican nuevamente que no sólo los tipos de uso y cubierta del suelo son relevantes para determinar la calidad de hábitat.

- Los valores de los índices de contagio, contraste y diversidad de Shannon, reflejan un mismo patrón de conectividad, donde las teselas con valores medios más altos de contagio e inferiores en contraste e índice de diversidad de Shannon, presentan abundancias poblacionales altas.
- La fragmentación del paisaje es considerada la principal causa de desaparición del topillo de Cabrera, hecho que se constata con los tamaños teselares medios de las teselas de calidad 0, los cuales son superiores en colonias con abundancia media-baja.
- Los hábitats subóptimos pueden emplearse como corredores en infraestructuras lineares, como son las lindes o los márgenes de carreteras, mejorando así la conectividad efectiva entre las teselas.

6. Bibliografía

Acuña Caro, C.A. (2010). Identificación de áreas prioritarias de conservación enfocadas hacia la conectividad estructural del corredor Encenillo (municipios de La Calera, Guasca, Sopo, Sesquilé, Guatavita), Cundinamarca [dissertation].

Baguette, M., y Van Dyck, H. (2007). Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape ecology*, 22(8), 1117- 1129.

Belenguer, R. (2018). El topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ*), un endemismo ibérico en la Meseta de Requena-Utiel. *Oleana* nº33, p. 169-184

Fernandes, M., Pita, R. y Mira, A. (2019). *Microtus cabreræ*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T13418A90931498. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-1.RLTS.T13418A90931498.en>. [Fecha de consulta: 27/03/2020]

Fernández-Salvador, R. 2007. *Microtus cabreræ* Thomas, 1906. Pp: 429-433. En: L. J. Palomo, J. Gisbert y J. C. Blanco (eds). Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España. Dirección General para la Biodiversidad -SECEM-SECEMU, Madrid.

Fernández-Salvador, R., García-Perea, R. y Ventura. J. (2001). Reproduction and postnatal growth of the Cabrera vole, *Microtus cabreræ*, in captivity. *Can. J. Zool.* 79: 2080–2085.

Forman, R. T. T. y Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. Nueva York: Wiley and Sons

García-Feced, C., González-Ávila, S. y Elena-Rosselló, R. (2008). Methodology for the classification and structural characterization of landscapes in Spanish forest districts. *Investigación Agraria. Sistemas Y Recursos Forestales*, 17(2): 130. doi: 10.5424/srf/2008172-01029.

García Velázquez, J.J. (1998). Evaluación de la diversidad del paisaje, utilizando un Sistema de Información Geográfica, para la Sierra Zapalinamé, Coahuila, Mexico. Tesis Doctoral inédita. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Disponible en: <https://www.emis.com/php/companies/index/?pc=MX&cmpy=4111934&primo=1>.

Garrido García, J. A. (2018). El topillo de Cabrera (*Microtus cabreræ* Thomas, 1906) en Andalucía: elementos para el desarrollo de un Plan de Conservación (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Granada.

Garrido-García, J.A. y Soriguer, R. (2015). Topillo de Cabrera *Iberomys cabreræ* (Thomas, 1906). Guía de indicios de los mamíferos de España. SECEM. <http://www.secem.es/wp-content/uploads/2016/12/017.-Iberomys-cabreræ.pdf> [Fecha de consulta: 25/03/2020]

Garrido-García J.A., Rosário I., Gisbert J., García Perea R., Cordero A., López-Alabau A., Mathias M., Mira A., Pita R., Santos S., Sendra I., Vicente V. y Soriguer R. (2013). Revisión a nivel ibérico de la distribución del topillo de Cabrera o iberón, *Iberomys cabreræ* (Thomas, 1906). *Galemys*, Spanish Journal of Mammalogy, 25: 35-49. DOI: 10.7325/Galemys.2013. A4.

González Alcalde, J.M. (2018). El Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama y su Entorno. *Foresta*.

Gurrutxaga San Vicente, M. y Lozano Valencia, P.J. (2006). Efectos De La Fragmentación De Hábitats Y Pérdida De Conectividad Ecológica Dentro De La Dinámica Territorial. *Polígonos. Revista de Geografía*; pp. 35-54

Gurrutxaga San Vicente, M. y Lozano Valencia, P.J. (2007). Criterios Para Contemplar La Conectividad Del Paisaje En La Planificación Territorial Y Sectorial." *Investigaciones Geográficas (Esp)*, Vol., núm.44, pp.75-88 [Consultado: 22 de Octubre de 2020]. ISSN: 0213-4691. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=176/17612761002>

Gurrutxaga San Vicente, M. y Lozano Valencia, P.J. (2008). Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios Geográficos*, LXIX (265): 519-543. doi: 10.3989/estgeogr.0427

Inkoom, J.N., Frank, S., Greve, K., Walz, U. y Fürst, C. (2018). Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in West Africa. *Ecological Indicators*, 85: 117-127. doi: 10.1016/j.ecolind.2017.10.031.

Irastorza Vaca, P. (2006). Integración de la ecología del paisaje en la planificación territorial: Aplicación a la comunidad de Madrid.E.T.S.I. Montes (UPM), (May 1) Disponible en: https://www.openaire.eu/search/publication?articleId=dedup_wf_001::df35dceea3839d53eb758ff46c13b958.

Luque-Larena, J. J., López P. (2007). Microhabitat use by wild-ranging Cabrera voles *Microtus cabreræ* as revealed by live trapping. *Eur J Wildl Res* 53:221–225.

Marín Valencia, A.L., Toro Restrepo, L.J. y Uribe Soto, S.I. (2008). Conectividad Estructural Del Paisaje Cafetero En La Cuenca Alta Del Río San Juan, Suroeste Antioqueño, Colombia. *Boletín De Ciencias De La Tierra* (23): 43-54.

Martel Serrano, J. (2017). Ecología y conectividad de colonias de topillo de Cabrera en el Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama y su Entorno. Trabajo de Fin de Grado. Universidad Politécnica de Madrid,

Mcgarigal K. y Marks B.J. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For Serv Gen Tech Rep. PNW-351.

Milena Alonso-F., A., Finegan, B., Brenes, C., Günter, S., y Palomeque, X. (2017). Evaluación de la conectividad estructural y funcional en el corredor de conservación Podocarpus-Yacuambi, Ecuador / Evaluation of structural and functional connectivity in the Podocarpus-Yacuambi conservation corridor, Ecuador. *Caldasia*, 39(1), 140-156. Retrieved October 21, 2020, from <http://www.jstor.org/stable/90009030>

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (s.f.). Plan Nacional de Observación del Territorio. Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España. Disponible en: <https://www.siose.es/> [consulta: 22/10/2020].

Pita, R., Beja, P. y Mira, A. (2007). Spatial population structure of the Cabrera vole in Mediterranean farmland: The relative role of patch and matrix effects. *Biological Conservation* 134: 383-392.

Pita, R., Luque-Larena, J. J., Beja, P. y Mira, A. (2017). Topillo de Cabrera – *Microtus cabrerae*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Sanz, J. J., Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.

Pita, R., Mira, A. y Beja P. (2006). Conserving the Cabrera vole, *Microtus cabrerae*, in intensively used Mediterranean landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115, 1–5

Pita, R., Mira, A. y Beja, P. (2010). Spatial segregation of two vole species (*Arvicola sapidus* and *Microtus cabrerae*) within habitat patches in a highly fragmented farmland landscape. *European Journal of Wildlife Research*, 56: 651-662.

Pita, R., Mira, A. y Beja, P. (2014). *Microtus cabrerae* (Rodentia: Cricetidae). *Mammalian Species* 46(912): 48-70.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590. Recuperado en 11 de junio de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008&lng=es&tlng=es.

Priego Santander, A., Moreno Casasola, P., Palacio Prieto, J.L., López Portillo, J. y Geissert Kientz, D. (2003). Relación entre la heterogeneidad del paisaje y la riqueza de especies de flora en cuencas costeras del estado de Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas* (52): 31-52.

Puzin, C. y Pétilon, J. (2019). Contrasted responses of dominant ground-dwelling arthropods to landscape salt-marsh fragmentation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 224: 138-141. doi: 10.1016/j.ecss.2019.05.002.

Salido Pérez, G.A. (2013). Buenas prácticas para la definición de redes ecológicas en España. Situación actual, herramientas disponibles y propuestas de mejora. Universidad de Alicante y WWF España.

Santos, S. M., Do Rosario, I. T., Mathias, M. L. (2005). Microhabitat preference of the Cabrera vole in a Mediterranean cork oak woodland of southern Portugal. *Vie et Milieu* 55(1): 53-59.

Santos, S. M., Simões, M. P., Mathias, M. L., Mira, A. (2006). Vegetation analysis in colonies of an endangered rodent, the Cabrera vole (*Microtus cabrae*), in southern Portugal. *Ecol Res* 21:197–207.

SNPRCN. (2005). Livro Vermelho dos Vertebrados Portugueses. Ministerio do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa.

Valerio, F., Ferreira, E., Godinho, S., Pita, R., Mira, A., Fernandes, N., Santos, S. M. (2020). Predicting Microhabitat Suitability for an Endangered Small Mammal Using Sentinel-2 Data. *Remote Sensing* 12

Vila i Subirós J, Varga Linde D, Llausàs i Pascual A, Ribas Palom A. (2007). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Geografía*, (48). Available from: <https://www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/view/72657>.

Yelo, N.D., Martínez-Noguera, E.J., Lisón, F., López-Espinosa, J.A., Calvo, J.F. y Eguía, S. (2016). Sierras del Norte de Murcia. En: Lozano, J.; Fuente, U.; Atienza, J.C.; Cabezas, S.; Aransay, N.; Hernáez, C. y Virgós, E. (coords.) *Zonas Importantes para los Mamíferos (ZIM) de España*: 511-517. SECEM-Tundra Ediciones, Castellón.

7. Anexos

7.1. Anexo 1. Criterios de establecimiento.

Tabla 1: Criterios de establecimiento de las calidades de hábitat, en base a la reclasificación realizada a partir de los usos del suelo propuestos en el sistema SIOSE. Calidades: 0 → Muy mala; 1 → Mala o Inadecuada; 2 → Buena o Favorable; y 3 → Muy buena (Pita et al., 2017; Santos et al., 2006; Luque-Larena y López, 2007; Santos et al., 2005; Fernández-Salvador et al., 2001; Valerio et al., 2020; Pita et al., 2014).

Reclasificación de SIOSE	Criterios	Calidad
Ensanche Urbano Zona Verde Artificial Zonas de Extracción o Vertidos	Zonas de gran influencia antrópica, normalmente fragmentadas y con perturbaciones constantes.	0
Coníferas Fronosas Caducifolias Fronosas Perennifolias Matorral	Masas forestales densas, con escasa vegetación herbácea	1
Cultivo Herbáceo de Regadío Cultivo Herbáceo de Secano Viñedos Mosaico de Cultivos	Terrenos con fuerte manejo agrícola (roturación del suelo, empleo de herbicidas, monocultivos, etc.)	1
Mosaico de Vegetación, Cultivos y Edificaciones	Mezcla de parches de vegetación natural, cultivos y pequeñas edificaciones destinadas normalmente al almacenamiento del alimento y la maquinaria.	1
Suelo No edificado	Descampados y solares cercanos a zonas urbanas.	1
Infraestructuras	Principalmente de transporte. Fuente de fragmentación paisajística.	1
Mosaico de Vegetación y Cultivos	Mezcla de parches de vegetación natural y cultivos. Presenta < 50% de terreno clasificado como pastizal, pero es mayoritario.	1
	Mezcla de parches de vegetación natural y cultivos. Presenta > 50% de terreno clasificado como pastizal.	2
Mosaico de Vegetación y Edificaciones	Terrenos con parches de vegetación natral y casas individuales separadas de los núcleos urbanos. Presentan < 50% de terreno clasificado como pastizal.	1
	Terrenos con parches de vegetación natral y casas individuales separadas de los núcleos urbanos. Presentan >50% de terreno clasificado como pastizal.	2

Dehesa	Mosaicos de vegetación, cultivos y masas boscosas. Presentan < 50% de terreno clasificado como pastizal, pero es mayoritario.	2
	Mosaicos de vegetación, cultivos y masas boscosas. Presentan > 50% de terreno clasificado como pastizal.	3
Mosaico de Vegetación Natural	Terreno con vegetación heterogénea. Presenta < 50% de terreno clasificado como pastizal, pero es mayoritario.	2
	Terreno con vegetación heterogénea. Presenta > 50% de terreno clasificado como pastizal.	3
Pastizal	Zonas principalmente herbáceas (> 70%) y sin influencia antrópica.	3
Praderas		