



Universidad
Complutense
Madrid



Universidad
Rey Juan Carlos



POLITÉCNICA

¿Influye la morfología del borde de carretera sobre la presencia de madrigueras de conejo (*Oryctolagus cuniculus*)? Estudio en la autovía A3

Máster Universitario en Restauración de Ecosistemas

Presentado por:
D^a Sara Cabanillas Resino

Tutor director y tutor académico:
Dr. D. Juan Antonio Delgado Sáez

Alcalá de Henares, a 30 de septiembre de 2016



D. Juan Antonio Delgado Sáez

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: ¿Influye la morfología del borde de carretera sobre la presencia de madrigueras de conejo (*Oryctolagus cuniculus*)? Estudio en la autovía A3, ha sido realizado bajo mi dirección por la alumna D^a Sara Cabanillas Resino.

En Madrid, a 29 de septiembre de 2016.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that is difficult to decipher but appears to be the name of the signatory.

Firmado: Juan Antonio Delgado Sáez.

D. Juan Antonio Delgado Sáez

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado: ¿Influye la morfología del borde de carretera sobre la presencia de madrigueras de conejo (*Oryctolagus cuniculus*)? Estudio en la autovía A3, ha sido realizado bajo mi tutorización académica por la alumna D^a Sara Cabanillas Resino.

En Madrid, a 29 de septiembre de 2016.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that is difficult to decipher but appears to be the name of the signatory.

Firmado: Juan Antonio Delgado Sáez.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIAL Y MÉTODOS	6
• Área de estudio	6
• Muestreo.....	8
• Clasificación de las unidades de estudio.....	9
• Análisis estadísticos.....	10
RESULTADOS	11
DISCUSIÓN	15
• Recomendaciones	18
CONCLUSIONES	19
AGRADECIMIENTOS	21
REFERENCIAS	22

RESUMEN

El alto grado de desarrollo de infraestructuras lineales producido en las últimas décadas ha alterado de forma severa el paisaje, introduciendo nuevos elementos que son vistos como atractivos por determinadas especies. Concretamente, los márgenes de las carreteras parecen seleccionarse positivamente por determinadas especies de vertebrados, hecho que puede producir conflicto entre especies desde el punto de vista de la conservación, ya que posiblemente, por considerarlos sitios con menor presión de depredación, con una vegetación bien desarrollada (comparada con su escasez en los campos de cultivo aledaños) o geomorfologías favorables para su desarrollo vital, la alta presencia de conejo como presa aumenta la probabilidad de que sus depredadores (como es el caso del turón o el lince ibérico) sean atropellados al ser atraídos a este hábitat que puede suponerles un alto riesgo de mortalidad. La alta presencia de conejo podría también producir daños internos en la estructura de la carretera en consecuencia al extenso entramado de túneles subterráneos que conforman sus madrigueras en las inmediaciones de la calzada y el cierto riesgo de accidente que puede suponer su presencia para los vehículos que circulan por la calzada al evitar atropellarlos o a sus depredadores. En consecuencia a los hechos expuestos, este estudio es planteado para estudiar cómo influyen las estructuras de nueva formación de los márgenes de carretera (como son los terraplenes y desmontes) en la presencia de madrigueras de conejo (*Oryctolagus cuniculus*). Para ello, se llevaron a cabo muestreos para determinar si el margen de la carretera se caracterizaba por tratarse de terraplén, desmonte o simplemente terreno llano y el número de madrigueras que incluía cada uno de los fragmentos identificados. Mediante el análisis de χ^2 y Modelos Lineales Generalizados (GLZ) se concluyó que el conejo muestra preferencia por los bordes caracterizados por estructuras de terraplén frente a las llanas. Además, al incrementarse la superficie del terraplén aumentaba el número de madrigueras más rápidamente que en el resto de tipologías de borde de carretera. Se incluyen recomendaciones para disminuir la presencia de madrigueras en los bordes de carretera a partir de los resultados encontrados.

ABSTRACT

The high grade of lineal infrastructures development produced during the last decades has altered in a severe way the landscape, introducing new elements which are seen as attractive to certain species. Specifically, roadsides seem positively selected by certain species of vertebrates, fact may cause conflict between species from the point of view of conservation, and possibly, considering sites with less predation pressure, with a well-developed vegetation (compared to its scarcity in surrounding crop fields) or favorable geomorphologies for its vital development, the high presence of rabbit as prey increases the probability of predators (such as the polecat and the Iberian lynx) of being hit by cars to be attracted to this habitat that can provoke a high risk of mortality. The high presence of rabbit could also cause internal damage to the road structure accordingly to the extensive network of underground tunnels that form their nests in the surroundings of the road and the certain risk of accident that may involve the presence of rabbits for vehicles on the road by avoiding hitting them or their predators. According to the previous facts, this study is posed in order to study how do new created roadside structures (such as embankment and road cut) influence over the distribution of rabbit warrens (*Oryctolagus cuniculus*). Because this reason, samplings were carry out to determine whether the road verge was characterized as embankment, road cut or simply flat land and the number or burrows which were included each of the identified fragments. Using χ^2 analysis and Generalized Linear Models (GLZ) it was concluded that rabbits show preference by the road vergers characterized as embankment against the flat borders. Furthermore, with increasing embankment surface the number of burrows increased faster than in the rest of roadside typologies. From these results, recommendations are included to reduce the presence of rabbit warrens on the roadsides.

INTRODUCCIÓN

La red de carreteras española consta de 166.284 km, de los cuáles 15.048 km son autopistas y autovías; este hecho convierte a España en el país de Europa con mayor longitud de este tipo de vías (Ministerio de Fomento, 2016). El gran desarrollo viario ha provocado una notable transformación del medio (Coffin, 2007) influyendo en los sistemas de los que consta y produciendo estructuras de nueva creación en los bordes de las infraestructuras como son los terraplenes y los desmontes.

La construcción de las infraestructuras lineales va a tener graves efectos negativos como la destrucción del hábitat y su fragmentación y el aumento de la mortalidad derivada del atropello de la fauna, produciendo como resultado la pérdida de biodiversidad (Forman y Alexander, 1998; Ree *et al.*, 2011). Por otra parte, las nuevas estructuras creadas en los bordes de la carretera pueden constituir un nuevo hábitat para ciertas especies de fauna como pequeños mamíferos: la musaraña (*Sorex coronatus*), el topillo campesino (*Microtus arvalis*) o el conejo (*Oryctolagus cuniculus*), sirviéndoles como refugio para establecer sus madrigueras (Barrientos y Bolonio, 2009; Ruiz-Capillas *et al.*, 2013; Le Viol *et al.*, 2015) al no poder construir las en los campos agrícolas adyacentes.

Esta consideración de los bordes de carretera como hábitats alternativos para algunas especies sigue teniendo un carácter controvertido. En ocasiones se ha considerado positivo, pero en otras se considera que los efectos negativos son más relevantes. El aumento de la mortalidad por atropello, por ejemplo, puede comprometer la supervivencia de las especies que los usan como hábitats (Garrah *et al.*, 2015). Pero estudios recientes muestran que también lo son para los depredadores que se sienten atraídos por la alta densidad local de presas en el borde de la carretera (Barrientos y Bolonio, 2009).

Adicionalmente, se ha citado que un aumento del número de accidentes de tráfico, como resultado de la aparición repentina de fauna salvaje en las infraestructuras viarias, puede constituir un impacto importante en la seguridad vial con importantes consecuencias socioeconómicas (Joyce y Mahoney, 2001; Sáenz de Santa María y Tellería, 2015). Entre éstas, además de la ocasional pérdida de vidas humanas se encuentran los gastos

debidos a tareas de limpieza de la calzada, desperfectos que sufra el vehículo o los propios elementos de seguridad de la carretera (guardarraíles, señalizaciones, vallado perimetral). Finalmente, la presencia del asentamiento de las mencionadas especies de mamíferos (topillos, musarañas, conejos) en el borde de las carreteras puede tener, además, efectos adversos para la conservación y el mantenimiento de la calzada ya que los hábitos excavadores de estas especies pueden perjudicar la estabilidad de terraplenes y desmontes cuando se presenta una elevada densidad de madrigueras (Kociolek *et al.*, 2010). Además, pueden dañar las actuaciones de restauración como es el caso de la revegetación de taludes a las que pueden afectar mediante la excavación o su consumo (Valladares *et al.*, 2011).

En España, el conejo es probablemente la especie más relevante en lo que se refiere a este tipo de daños en las infraestructuras, dado su tamaño, su hábito colonial y su abundancia. De hecho, la existencia de daños por madrigueras de conejo en carreteras se ha documentado al paso de éstas por zonas de cultivos agrícolas. Se considera que este tipo de paisaje es especialmente propicio dada la combinación de cultivos, que proporcionan alimento y bordes de las infraestructuras que posibilitan un sitio seguro para la construcción de sus madrigueras.

Esta fuerte acumulación de madrigueras en los bordes de las infraestructuras motiva no sólo la necesidad de realizar intervenciones puntuales (descastes, supresión de colonias), sino también la creación de planes de actuación para evitar las consecuencias que podrían producirse si se provoca daño a la estructura de la carretera, tanto en términos de la seguridad vial como de costes de mantenimiento (Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla-La Mancha, 2008).

Por otra parte, el conejo es considerado una especie clave en los ecosistemas mediterráneos por constituir una presa importante para muchas especies depredadoras como el águila imperial (*Aquila adalberti*) y el lince ibérico (*Lynx pardinus*) con importantes problemas de conservación (Gea *et al.*, 2002). Es considerado como una especie ingeniera de ecosistemas (Rogers *et al.*, 1994; Jones *et al.*, 1996) y se ha constatado que mediante su actividad excavadora es capaz de modelar la vegetación que le rodea (Gálvez *et al.*, 2008) y afectar a la estructura del suelo (Delibes-Mateos y

Gálvez-Bravo, 2009). Además, su elevada capacidad reproductora produce puntualmente aumentos poblacionales importantes característicos de su dinámica poblacional y que son claves para la supervivencia de muchos de sus depredadores (Delibes-Mateos *et al.*, 2007).

Sin embargo, estas elevadas densidades poblacionales son las responsables de que se considere puntualmente una especie plaga por sus daños a la agricultura o incluso a los sistemas de transporte (Williams *et al.*, 1995; Ministerio de Fomento, 2016). En estas circunstancias es habitual impulsar medidas para reducir sus tamaños poblacionales (descastes) o para mantener a los conejos separados de los intereses humanos (sistemas de cerramiento anticonejos). Por lo que se denota un conflicto entre la necesidad de mantener poblaciones abundantes de esta especie y, por otra parte, evitar los daños de una población excesiva.

En este contexto, resulta interesante estudiar cómo han influido o condicionado en los conejos la presencia de los bordes de carretera y cómo realizan la colonización de estos terrenos mediante la construcción de sus madrigueras, ya que estos lugares se han convertido en terrenos propicios para el establecimiento de sus colonias (Ruiz-Capillas *et al.*, 2013). Para ello se va a cuantificar la presencia de madrigueras en los diferentes tipos de borde de carretera (terraplén, desmonte o terreno llano) de la zona de estudio que forman parte de los márgenes de la autovía A-3 a su paso por el municipio de Fuentidueña del Tajo.

Específicamente se va a medir:

- Delimitación y medida de superficies de las diferentes unidades de borde de carretera presentes en el tramo de autovía estudiado.
- Cuantificación del número y tamaño de madrigueras de conejo presentes en cada una de estas unidades.

No es posible establecer una relación directa entre el número de madrigueras y la abundancia de individuos. No obstante, se ha documentado una asociación positiva entre la densidad de madrigueras y el número de individuos de un territorio (Blanco y Villafuerte, 1993). Por otra parte, el número de bocas que presente una madriguera

podría usarse como indicativo del tamaño de dicha madriguera, ya que se ha reportado que un mayor número de bocas se asocia positivamente con la abundancia relativa de conejo (Palomares, 2001). En cualquier caso, el número de madrigueras y de bocas podría considerarse un indicador fiable de la mayor o menor actividad excavadora que ha realizado esta especie en cada unidad estudiada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se centra en las inmediaciones de la autovía A-3 (km 68-71), en el término municipal de Fuentidueña del Tajo (40°07'05"N 3°09'37"O). El municipio pertenece a la Comarca de Las Vegas, en el extremo sureste de la Comunidad de Madrid, limítrofe con la provincia de Toledo (Figura 1), la altitud es de 567 m.



Figura 1. Localización de Fuentidueña del Tajo.

El clima característico de la zona es de tipo Mediterráneo continental con una temperatura media de 14,2 °C y una precipitación anual de 408 mm. El mes con precipitaciones más escasas es julio, con 9 mm, mientras que noviembre es el mes en el que las precipitaciones son mayores, con un valor cercano a los 50 mm. El mes más caluroso del año es julio, que alcanza temperaturas de 24,6 °C, en cambio, el mes más frío del año es enero, con un valor medio de 5,4 °C (Figura 2).

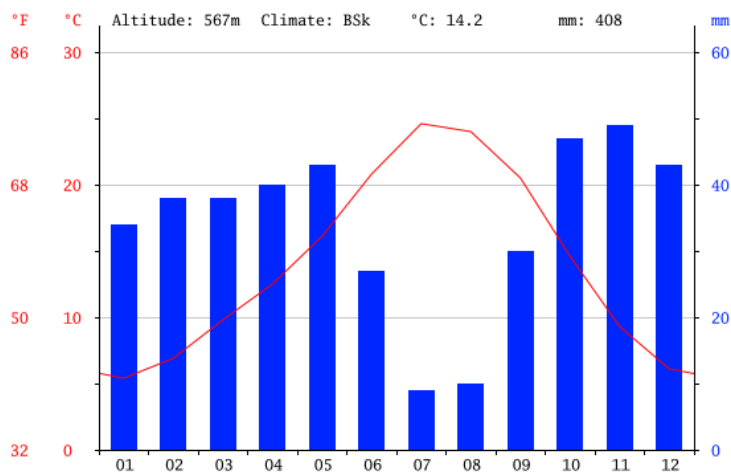


Figura 2. Climograma de Fuentidueña del Tajo (Climate-data, 2016).

El paisaje que caracteriza la región está formado por un conjunto de cultivos cerealistas y de parches de pequeño tamaño sin cultivar en un relieve más bien ondulado. Estos parches sin cultivar se encuentran dominados por tomillares típicos de suelos yesosos y numerosos ejemplares de esparto (*Stipa tenacissima*) y matorrales abiertos caracterizados por efedrales (*Ephedra fragilis*), jabunales (*Gypsophila struthium*) y frankeniars (*Frankenia thymifolia*), además de la abundante presencia de plantas gramíneas. Este tipo de paisaje estepario es típico de la zona central de España y proporciona hábitats muy favorables para el establecimiento de las comunidades de conejo (Fa *et al.*, 1999), además de corresponderse con una de las áreas de mayor densidad de esta especie en España (Villafuerte, 2007).

Muestreo

La mayor parte de los datos en los que está basado el presente estudio fueron obtenidos durante el año 2013; dos observadores recorrieron ambos márgenes de la carretera pertenecientes al área de estudio localizando y georreferenciando las madrigueras de conejo que encontraron presentes durante el recorrido. Por margen de carretera se consideró el espacio comprendido entre el asfalto y el camino o campo de cultivo más próximo presente en la matriz agrícola. Para llevar a cabo esta labor, se utilizó el Sistema de Información Geográfica ArcGis 9 (ESRI, 2004).

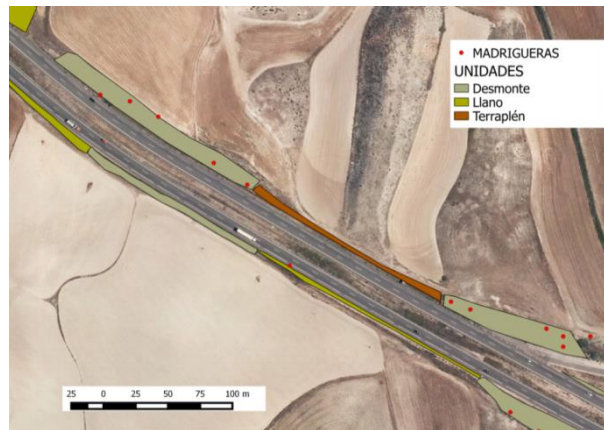


Figura 3. Identificación de los distintos tipos de unidades en ambos márgenes de un sector del área de estudio y las madrigueras presentes en cada una de ellas.

Además, se caracterizó el terreno que conformaba ambos márgenes de la carretera diferenciándolo según perteneciera a tipo terraplén, desmonte o terreno llano, calculando la superficie que ocupaba cada unidad (Figura 3), hasta obtener 36 unidades diferenciadas. De esta manera, se pudo estudiar cómo se encontraban distribuidas las madrigueras en cada diferente unidad concretamente y contabilizar su cómputo total al sumar las unidades de un mismo tipo (Tabla 1). Es decir, cuántas madrigueras se encontraron en un terraplén determinado y cuántas suman en la totalidad de terraplenes de la zona de estudio, de la misma forma en el caso de desmontes y bordes de carretera

con perfil llano (Ruiz-Capillas, Proyecto ECONECT, 2015). Delimitar una madriguera con exactitud supondría conocer el uso de las diferentes entradas y sistemas de túneles que realiza la colonia. Lo que a efectos prácticos es poco realizable. Por ello, definimos la madriguera como el conjunto de bocas encontradas a una distancia entre sí no mayor de 5 metros de distancia, ya que no suelen separarse más, ni siquiera en colonias grandes (Williams *et al.*, 1995).

Clasificación de las unidades de estudio

Las unidades de estudio se clasificaron en tres tipos en función de su diferente estructura y relieve: terraplén, desmonte y terreno llano. Un terraplén se forma como producto de la acumulación de materiales consecuencia de movimientos de tierra en el proceso de construcción de una infraestructura viaria. En el caso del desmonte, se trata del espacio que resulta tras la extracción del material que ha sido necesario retirar para la construcción de la carretera en ese lugar. El desmonte suele estar caracterizado por una mayor pendiente que el terraplén, la erosión suele ser más acentuada y la cobertura vegetal es menor, ya que el establecimiento de comunidades vegetales es más dificultoso que en el caso del terraplén (Tormo *et al.*, 2009). Por último, también se observan en la zona de estudio terrenos llanos intercalados entre los otros dos tipos de estructuras mencionadas anteriormente (Figura 4 y Figura 5).



Figura 4. Visión general de una parte de la zona estudiada.



Figura 5. Detalle de varias bocas de madriguera en un desmonte en la zona de estudio.

En la siguiente tabla se muestran algunos de los datos recopilados durante la observación de la zona de estudio:

Tipo Unidad	Nº Madrigueras Totales	Superficie Total (m ²)	Nº Madrigueras/ha
Llano	47	47970	10
Desmonte	45	35410	13
Terraplén	25	12628	20

Tabla 1. Número de madrigueras y superficie de cada tipo de unidad.

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de χ^2 para estudiar si las madrigueras y bocas observadas se distribuyen de forma proporcional a la disponibilidad de superficie de cada tipo de borde de carretera identificado (desmontes, terraplenes o terrenos llanos). Para estudiar si la superficie que ocupaba cada unidad perteneciente a los diferentes tipos de borde identificados tenía un efecto sobre la presencia o el tamaño de las madrigueras de conejo, realizamos un análisis GLZ con el tipo de borde de carretera como factor y la superficie como covariable. De esta forma podemos estudiar de manera independiente

los efectos del tipo de borde de carretera y el tamaño de las unidades, controlando así que la preferencia o rechazo por un tipo de borde de carretera no fuera consecuencia, por ejemplo, de que las unidades que lo conforman sean de un tamaño demasiado pequeño. Estos últimos análisis se realizaron utilizando el software IBM SPSS 22.0 para Windows (IBM, 2013).

RESULTADOS

Los resultados sugieren que la frecuencia de aparición de madrigueras en las distintas categorías de borde de carretera no es proporcional a su superficie ($\chi^2= 8,327$; g.l.= 2; $p= 0.016$). Presentando los terraplenes mayor presencia de madrigueras de las esperadas por la superficie que ocupan en la zona de estudio. La presencia de madrigueras en el llano es ligeramente inferior a la esperada por su superficie.

No obstante, estos resultados no consideran que las madrigueras se organicen en unidades de borde con diferente geomorfología y, además, diferente área. Los resultados de los GLZ para el número de madrigueras en cada unidad de borde de carretera nos indican que existe una interacción entre el tipo de borde de carretera al que pertenece la unidad y la superficie ocupada por la misma (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del modelo que explica el número de madrigueras en función de la extensión y tipología de la unidad de borde de carretera.

Variabes	Wald	g.l.	P
Interceptación	0,527	1	0,468
Tipo	5,751	2	0,056
Área	26,742	1	0,000
Tipo x Área	10,028	2	0,007

Función de distribución de probabilidad de Poisson y función de enlace logarítmica.

Este resultado indica que, al incrementarse el área se aumenta más el número de madrigueras en unas tipologías de borde que en otras. En nuestro caso concreto, que el número de madrigueras se incrementa mucho más rápidamente al aumentar la superficie de los terraplenes que en llanos o desmontes (Figura 6).

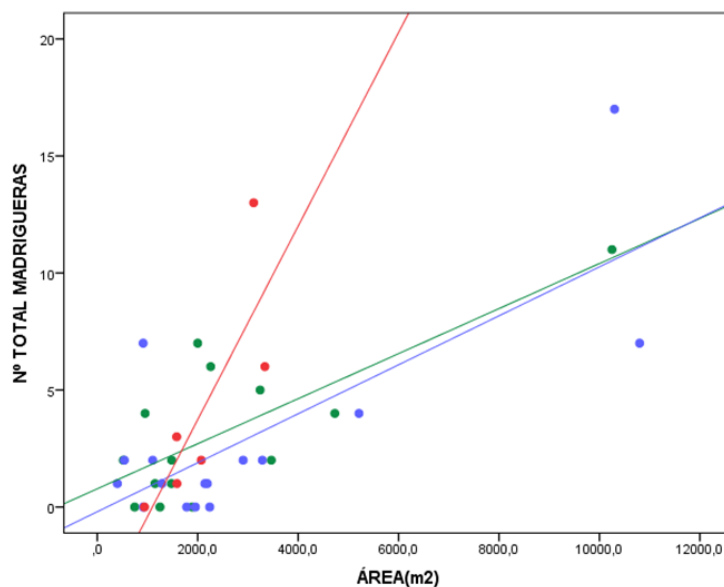


Figura 6. Frecuencia de aparición de madrigueras en los distintos tipos de borde de carretera en relación a su superficie (Rojo: Terraplén, Verde: Desmonte y Azul: Llano).

Para poder proseguir con el análisis excluimos los datos relativos a terraplenes (Engqvist, 2005).

Los resultados muestran que ahora la interacción puede eliminarse del modelo ya que es claramente no significativa (Wald= 0,637, g.l.=1, P= 0,425). El modelo sin interacción indica que no habría diferencias entre ambos tipos de borde, pero la superficie correlaciona positiva y significativamente con el número de madrigueras (Modelo: 55,815, g.l. 2, P<0,001; Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros del modelo que explica el número de madrigueras en función de la extensión y tipología de la unidad de borde de carretera excluyendo los terraplenes.

Variables	Estimate	SE	Wald	P
Interceptación	0,169	0,213	3,256	0,071
Tipo	0,286	0,211	1,823	0,177
Área	0,000208	2,5778E-5	65,359	<0,001

Función de distribución de probabilidad de Poisson y función de enlace logarítmica.

En relación al número de bocas de madriguera que aparecen en los bordes de carretera, los resultados muestran que su presencia en los diferentes tipos de borde es proporcional a la superficie ocupada por los mismos ($\chi^2 = 1,758$; g.l.= 2; p= 0.415).

Sin embargo, el resultado del GLZ para el número de bocas en cada unidad de borde de carretera nos indica que existe una interacción entre el tipo de borde al que pertenece la unidad y la superficie ocupada por la misma (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado del modelo que explica el número de bocas de madriguera en función de la extensión y tipología de la unidad de borde de carretera.

Variabes	Wald	g.l.	P
Interceptación	2,551	1	0,110
Tipo	11,819	2	0,003
Área	33,706	1	0,000
Tipo x Área	13,706	2	0,001

Función de distribución de probabilidad de Poisson y función de enlace logarítmica.

Este resultado indica que, al incrementarse el área se aumenta más la frecuencia de aparición del número de bocas en unas tipologías de borde que en otras. En nuestro caso concreto, que el número de madrigueras se incrementa mucho más rápidamente al aumentar la superficie de los terraplenes que en llanos o desmontes (Figura 7).

Al igual que en el caso de las madrigueras, para proseguir con el análisis excluimos los datos relativos a terraplenes. Los resultados muestran que ahora la interacción puede eliminarse del modelo ya que es claramente no significativa (Wald= 2,620, g.l.=1, P=0,106). El modelo sin interacción indica que no habría diferencias entre ambos tipos de borde, pero la superficie correlaciona positiva y significativamente con el número de madrigueras (Modelo: 120,427, g.l.=2, P<0,001; Tabla 5).

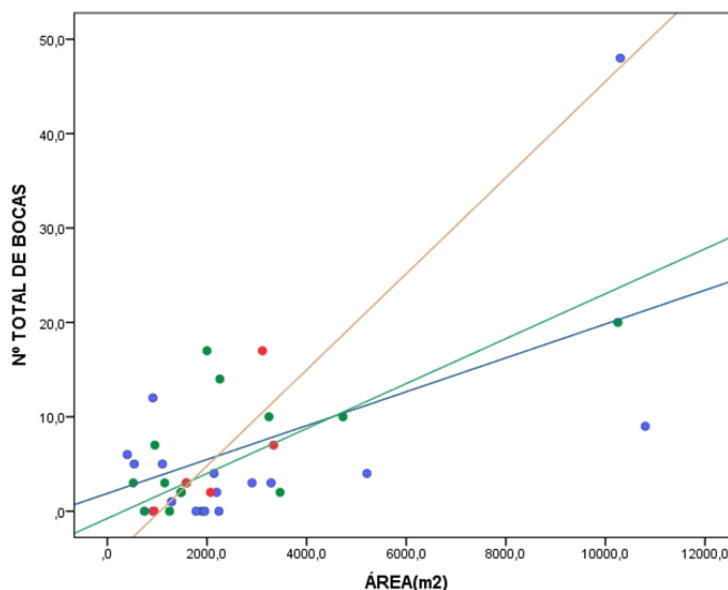


Figura 7. Frecuencia de aparición de bocas de madriguera en los distintos tipos de borde de carretera en relación a su superficie (Rojo: Terraplén, Verde: Desmonte y Azul: Llano).

Tabla 5. Parámetros del modelo que explica el número de bocas de madriguera en función de la extensión y tipología de la unidad de borde de carretera excluyendo los terraplenes.

VARIABLES	Estimate	SE	Wald	P
Interceptación	0,169	0,213	73,942	0,000
Tipo	0,286	0,211	2,008	0,156
Área	0,000208	2,5778E-5	140,945	0,000

Función de distribución de probabilidad de Poisson y función de enlace logarítmica.

Finalmente, no existe interacción entre el tipo de borde de carretera y la extensión, y el modelo de efectos principales, indica que no hay significación ni del tipo de borde ni de la superficie sobre el tamaño de las madrigueras (Modelo: 0,737, g.l. 3, $P= 0,864$; función de distribución normal y función de enlace identidad). Es decir, el tamaño medio de las madrigueras no varía en relación a la extensión de las unidades de borde ni a su tipología.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos parecen sugerir que existe una preferencia por la construcción de madrigueras en los terraplenes, especialmente frente a los bordes llanos. Sin embargo, esta preferencia está fuertemente influida por la existencia de unidades de borde de carretera con diferente extensión. De hecho, se ha detectado una respuesta diferencial de la preferencia de los conejos a la hora de construir madrigueras en unidades de diferente tamaño. El incremento del número de madrigueras y del número de bocas con la superficie fue mucho mayor en terraplenes que en el resto de morfologías. Sin embargo, el tamaño medio de madriguera, medido como número de entradas, no varió entre los diferentes tipos de morfología de borde ni tampoco en relación a la extensión de cada unidad. Es decir, las madrigueras presentaron el mismo tamaño medio en taludes, terraplenes y zonas llanas y, por otra parte, las unidades de mayor tamaño no albergaron las madrigueras más grandes.

La preferencia por los terraplenes, en un principio podría ser debida a que el conejo muestra preferencia por suelos profundos y ligeros para excavar de forma más fácil para la elaboración de sus madrigueras subterráneas (Gea *et al.*, 2002). Los terrenos llanos están compuestos por materiales con un mayor grado de compactación, lo que dificulta las labores de excavación en este tipo de unidad de estudio. En el caso del desmonte, debido a que posee una mayor pendiente que el terraplén y la erosión suele ser más acentuada y en consecuencia, la cobertura vegetal es menor, estas características no son tan propicias como las que proporciona el terraplén por su alta cobertura vegetal y menor pendiente (Martínez-Alonso y Valladares, 2002).

Otro de los factores por los que los conejos elegirían construir sus madrigueras en terrenos de terraplén principalmente en lugar de en superficies planas, podría ser que tienen que excavar madrigueras menos profundas para estar a una temperatura adecuada bajo tierra lejos del calor de la superficie del terraplén, al tratarse de superficies inclinadas puede que el sol no incida tan directamente como en el suelo llano (Parer & Libke, 1985).

Se han documentado evidencias de que los canales subterráneos de las madrigueras pueden dañar y/o alterar la estructura interna de la calzada, causando daños irreversibles e incluso su colapso (Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla-La Mancha, 2008), y no sólo las carreteras pueden llegar a estar afectadas, sino que también se han detectado estos signos en las proximidades de determinados tramos de vías ferroviarias (Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, 2014) y la firmeza del terreno bajo las vías puede verse perjudicado y peligrar la estabilidad de las vías. En el tramo de estudio de la autovía A-3 a su paso por el municipio de Fuentidueña del Tajo parece que no se aprecian a simple vista posibles daños externos en la estructura de la carretera, pero no es posible precisar si existen en su parte interna.

El hecho de que las madrigueras de conejo perjudiquen la estructura interna de las infraestructuras lineales, especialmente en los sectores caracterizados por bordes de carretera de tipo terraplén y cuando se trata de terreno agrario el circundante, debe tenerse en cuenta en el momento de la planificación de la creación de la infraestructura vial, ya que las consecuencias derivadas de este hecho existen y están corroboradas en varios casos en los que ha habido grandes pérdidas económicas al tener que invertir en la rehabilitación de la calzada.

Dado que el terreno circundante al borde de carretera es terreno agrícola y con actividad humana, los conejos pueden obtener el alimento de estas zonas agrarias y asentarse en los bordes de carretera, convertidos en hábitats favorables (Barrientos y Bolonio, 2009). Existe una alta densidad de conejos en las poblaciones que ocupan los terraplenes (Ruiz-Capillas, Proyecto ECONECT, 2015), por lo que el número de colisiones producidas por la aparición repentina de fauna salvaje (posiblemente depredadores con menor frecuencia que los propios conejos, Fahrig y Rytwinski, 2009) en las infraestructuras viarias podría incrementarse, y en consecuencia, también los efectos socioeconómicos a tener en cuenta en un balance global (Sáenz de Santa María y Tellería, 2015).

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2013) ha elaborado un informe que engloba diversas áreas estudiadas del territorio español y las clasifica en función de la densidad de accidentes de fauna salvaje.

Según los datos utilizados para realizar dicho informe, las características del tramo de autovía A-3 que recorre las inmediaciones de la población de Fuentidueña del Tajo, sugieren que se clasifique como área con índice de patrimonio natural poco fragmentado y baja prioridad de mitigación de efectos por las vías de transporte. En cuanto al índice de densidad de accidentes con fauna silvestre, según los registros correspondientes a la base de datos de la Dirección General de Tráfico entre los años 2007 y 2011, el número de accidentes en el área de estudio es menor de 1 por km², tratándose de entre 8 y 14 accidentes por km² los valores máximos registrados en las zonas más conflictivas de la Comunidad de Madrid, localizándose principalmente en carreteras de doble calzada, autovías y autopistas.

Existen estudios en los que se evidencia que el número de atropellos de fauna está correlacionado de forma positiva con la abundancia de individuos (Joyce y Mahoney, 2001) y que además, las áreas donde existen vallas delimitando el borde de la carretera tienen un efecto beneficioso, ya que disminuye el número de atropellos (Clevenger *et al.*, 2001) al fijarse una barrera artificial al territorio por el que se extiende la población.

En nuestro caso, el área de estudio consta de una valla metálica delimitando el borde de la carretera, como ocurre en todas las autovías, por lo que podría ofrecer cierta impermeabilidad al movimiento de la fauna hacia la calzada. Aunque las características de la valla se han mostrado poco efectivas para evitar el traspaso de ésta por los conejos desde los terrenos circundantes hacia la carretera, principalmente porque la valla no ha sido ni enterrada ni clavada al suelo (observación personal), medidas que son recomendadas para dificultar en lo posible a los conejos la apertura de pasos por debajo de la misma (Valladares *et al.*, 2011).

Una vez expuestos los anteriores argumentos, se nos plantea una cuestión importante que resolver: se trata de encontrar un equilibrio entre la conservación de la especie dada su importancia ecológica (Delibes-Mateos *et al.*, 2007) y el efecto que tiene el desarrollo de infraestructuras lineales sobre las poblaciones de conejo y cómo su establecimiento puede llegar a afectar a la estructura interna de dichas infraestructuras o su presencia pueda suponer un posible riesgo indirectamente para las personas.

Es decir, el tratamiento del problema ocasionado por los conejos en los bordes de carretera, sería necesario tratarlo no sólo en lo referente a los ámbitos de mantenimiento de la infraestructura sino también en los de seguridad vial y de conservación.

El diseño de carreteras debe ser una tarea multicriterio-multiobjetivo en la que hay que tener en cuenta una gran variedad de factores. El trazado de la infraestructura debe reunir un alto grado de seguridad y minimizar los movimientos de tierra, asegurando así un menor coste de mantenimiento de la carretera y mayor seguridad vial. Reducir el impacto directo sobre el medio, llevando a cabo una reducción de emisiones nocivas para el medio ambiente y de gases de efecto invernadero (como por ejemplo, el CO₂ producto de los combustibles fósiles). Planificar una revegetación adecuada y acorde con el lugar en el que se va a llevar a cabo y recoger medidas que afecten a la colonización de los bordes de carretera por la fauna, especialmente la de animales excavadores para reducir la siniestralidad y mortalidad de animales y reducir las necesidades de mantenimiento, sólo de esta manera se logrará no perjudicar la conservación de la fauna.

Recomendaciones

Aunque nuestros resultados son relativamente preliminares al no ser un muestreo extensivo (pocos kilómetros de una única autovía), la homogeneidad de las autovías y la abundancia del tipo de paisaje que constituye nuestra zona de estudio puede permitirnos aventurar algunas recomendaciones.

Los resultados sugieren que el conejo prefiere construir sus madrigueras subterráneas del borde de carretera principalmente en los terraplenes. Además, el tamaño de los terraplenes tiene un estímulo mucho más positivo sobre la construcción de madrigueras que el resto de las tipologías de borde de carretera. En consecuencia, es probable que los taludes de mayor tamaño reciban proporcionalmente mucha más cantidad de madrigueras que el resto del borde de carretera.

Por lo tanto, se podría recomendar la reducción del número y tamaño de terraplenes en

la fase de diseño de las autovías cuando atraviesen estos paisajes agrarios. Dado que esta medida de diseño es muy restrictiva y, en la mayoría de los casos se tendría que confrontar a las necesidades técnicas del diseño jerárquicamente más relevantes (movimientos de tierras, seguridad vial), resultará probablemente, poco aplicable.

Dadas las dificultades para aplicar la anterior medida, se puede sugerir como medida más útil el establecer un vallado en los taludes que permita la exclusión de los conejos. El mínimo sería cumplir con buenas prácticas recomendadas de clavar la valla al suelo e incluso enterrar la parte inferior para evitar su levantado (Valladares *et al.*, 2011). Sin embargo, en lugares que se sepan especialmente conflictivos, habría que instalar sistemas de cerramiento anticonejo que dificulten al máximo el excavado bajo la valla. Para prevenir incluso el acceso de los conejos desde otros lugares del borde de carretera, podría instalarse también vallado transversal que aislara el terraplén.

Finalmente, es recomendable estudiar la influencia de la presencia de la valla de cerramiento convencional en la presencia de las madrigueras. En este trabajo no hemos distinguido entre el borde de carretera comprendido entre la valla y el asfalto y el comprendido entre la valla y el borde de campo de cultivo o camino de la matriz agrícola. Por lo tanto, no permite estudiar si hay mayor o menor preferencia por colonizar el borde de carretera de la valla al exterior o de la valla a la plataforma asfaltada. Creemos que este estudio podría mejorar el conocimiento de la ocupación de los bordes de las autovías por madrigueras de conejo. De esta forma se podrían obtener medidas adicionales relacionadas con la localización de la valla más o menos próxima a la plataforma asfaltada para reducir el espacio colonizable por los conejos.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los datos expuestos, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El conejo discrimina a favor de terraplenes para construir sus madrigueras, siendo los terrenos llanos menos propicios para la construcción de éstas.
- El número de madrigueras se incrementa mucho más rápidamente al aumentar la superficie de los terraplenes que en llanos o desmontes, los terraplenes contienen

más madrigueras de las esperadas dada la superficie que ocupan en la zona de estudio.

- El tamaño medio de las madrigueras no difiere entre las diferentes tipologías de borde de carretera.
- El tamaño medio de las madrigueras no difiere con la extensión de las unidades de borde.

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de este trabajo no habría sido posible sin la inestimable ayuda y paciencia de mi tutor académico y director Juan Antonio Delgado Sáez, muchas gracias por la confianza depositada en mí, el apoyo prestado y el tiempo invertido en ayudarme a realizar este trabajo. Agradezco sinceramente además, los conocimientos compartidos y la ayuda proporcionada por parte de Pablo Ruiz-Capillas Mancebón y María Dolores Jiménez Escobar, siempre disponibles para solucionar cualquier duda y dispuestos a ofrecer su ayuda.

REFERENCIAS

- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (2014). La proliferación de conejos amenaza con deteriorar vías de tren en Madrid.
http://www.abc.es/espana/madrid/abci-proliferacion-conejos-amenaza-deteriorar-vias-tren-madrid-201603262207_noticia.html
- Barrientos, R., & Bolonio, L. (2009). The presence of rabbits adjacent to roads increases polecat road mortality. *Biodiversity and Conservation*, 18(2), 405-418.
- Blanco, J. C., & Villafuerte, R. (1993). Factores ecológicos que influyen sobre las poblaciones de conejos. *Incidencia de la enfermedad hemorrágica*. Empresa de Transformación Agraria, S.A. (Madrid).
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B., & Gunson, K. E. (2001). Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, pp. 646-653.
- Climate-data.org (2016) Historical average temperature. <http://climate-data.org/>. Accessed 2 Sept 2016.
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *Journal of transport Geography*, 15(5), 396-406.
- Delibes-Mateos, M., Redpath, S. M., Angulo, E., Ferreras, P., & Villafuerte, R. (2007). Rabbits as a keystone species in southern Europe. *Biological Conservation*, 137(1), 149-156.
- Delibes-Mateos, M., & Gálvez-Bravo, L. (2009). El papel del conejo como especie clave multifuncional en el ecosistema mediterráneo de la Península Ibérica. *Revista Ecosistemas*, 18(3).

- Demarcación de Carreteras del Estado en Castilla-La Mancha (2008). Proyecto de Trazado "Autovía A-32, Linares-Albacete. Tramo: Balazote-Albacete".
- Engqvist, L. (2005). The mistreatment of covariate interaction terms in linear model analyses of behavioural and evolutionary ecology studies. *Animal Behaviour*, 70(4), 967-971.
- Fa, J.E., Sharples, C.M. & Bell, D.J., (1999). Habitat correlates of European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) distribution after the spread of RVHD in Cadiz Province. Spain. *Journal Zoology*, 249: 83–96.
- Fahrig, L., & Rytwinski, T. (2009). Effects of roads on animal abundance: an empirical review and synthesis. *Ecology and society*, 14(1), 21.
- Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, 207-C2.
- Gálvez, L., López-Pintor, A., De Miguel, J. M., Alonso, G., Rueda, M., Rebollo, S., & Gómez-Sal, A. (2008). Ecosystem engineering effects of European rabbits in a Mediterranean habitat. *Lagomorph Biology*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 125-139.
- Garrah, E., Danby, R. K., Eberhardt, E., Cunnington, G. M., & Mitchell, S. (2015). Hot spots and hot times: wildlife road mortality in a regional conservation corridor. *Environmental management*, 56(4), 874-889.
- Gea, G., Muñoz, J., Roig, S., & San Miguel, A. (2002). Relación entre vivares de conejo y variables del medio: implicaciones en la gestión agrosilvopastoral. *Producción de pastos, forrajes y céspedes*, pp. 603-608.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1996). Organisms as ecosystem engineers. *Ecosystem management*. Springer New York, 130-147.

- Joyce, T. L., & Mahoney, S. P. (2001). Spatial and temporal distributions of moose-vehicle collisions in Newfoundland. *Wildlife Society Bulletin*, pp. 281-291.
- Kociolek, A., Cuelho, E., Fenster, R., & Huijser, M. P. (2010). Assessment of Burrowing Mammal Impacts on Paved Highways in Montana (No. FHWA/MT-10-010/8117-39).
- Le Viol, I., Jiguet, F., Machon, N., Scher, O., & Kerbiriou, C. (2015). Road network in an agrarian landscape: Potential habitat, corridor or barrier for small mammals? *Acta Oecologica*, 62, 58-65.
- Martínez-Alonso, C., & Valladares Ros, F. (2002). La pendiente y el tipo de talud alteran la relación entre la riqueza de especies y la cobertura de las comunidades herbáceas. *Ecología* 16: 59-71.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013). Identificación de áreas a desfragmentar para reducir los impactos de las infraestructuras lineales de transporte en la biodiversidad. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte, número 6. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 260 pp. (Madrid).
- Ministerio de Fomento (2016). Catálogo y Evolución de la Red de Carreteras. Madrid.
http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRETERAS/CATYEVO_RED_CARRETERAS/
http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/CARRETERAS/CATYEVO_RED_CARRETERAS/. Accessed 2 sept 2016.
- Palomares, F. (2001). Comparison of 3 methods to estimate rabbit abundance in a Mediterranean environment. *Wildlife Society Bulletin*, pp. 578-585.

- Parer, I., & Libke, J. A. (1985). Distribution of rabbit, *Oryctolagus cuniculus*, warrens in relation to soil type. *Wildlife Research*, 12(3), 387-405.
- Planillo, A., & Malo, J. E. (2013). Motorway verges: paradise for prey species? A case study with the European rabbit. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*, 78(3), 187-192.
- Rogers, P. M., Arthur, C. P., & Soriguer, R. C. (1994). The rabbit in continental Europe. The European rabbit: the history and biology of a successful colonizer. *Oxford University Press, Oxford*, 22-63.
- Ruiz-Capillas, P., Mata, C., & Malo, J. E. (2013). Road verges are refuges for small mammal populations in extensively managed Mediterranean landscapes. *Biological conservation*, 158, 223-229.
- Ruiz-Capillas, P. (2015) Conejos. Influencia de las carreteras sobre los patrones de actividad de especies ingenieras: implicaciones a escala de paisaje. Proyecto ECONECT: Conexión de flujos ecológicos en carreteras a escala de paisaje. OHL, S.A.
- Sáenz-de-Santa-María, A., & Tellería, J. L. (2015). Wildlife-vehicle collisions in Spain. *European Journal of Wildlife Research*, 61(3), 399-406.
- Tormo, J., Brochet, E., & García-Fayos, P. (2009). Restauración y revegetación de taludes de carreteras en ambientes mediterráneos semiáridos: procesos edáficos determinantes para el éxito. *Revista Ecosistemas*, 18(2).
- Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Escudero, A., & Alfaya, V. (2011). Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas. Fundación Biodiversidad. Madrid, 11.

- Van der Ree, R., Jaeger, J. A., van der Grift, E. A., & Clevenger, A. P. (2011). Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving toward larger scales. *Ecology and society*, 16(1), 48-48.
- Villafuerte, R. (2007). *Oryctolagus cuniculus* (Linnaeus, 1758). In: Palomo, L.J., Gisbert, J., Blanco, J.C. (Eds.), Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España. Dirección General para la Biodiversidad-SECEM-SECEMU, Madrid, pp. 487–491.
- Williams, K., Parer, I., Coman, B., Burley, J., & Braysher, M. (1995). Managing vertebrate pests: rabbits. Australian Government Publ. Service.