



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Máster de Investigación en Conservación y Uso
Sostenible de Sistemas Forestales**

**Análisis del comportamiento de *Mus spretus* en la selección,
manejo y gestión de bellotas del género *Quercus***

Alumno: David Beltrán Marcos
Tutores: José María del Arco Montero y
Carolina Martínez Ruiz

Junio 2015

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores, a Chema, por las ideas prestadas, por la ayuda en el desarrollo de los experimentos y por todo el interés mostrado desde el principio en que este trabajo conjunto saliese adelante. Y a Carolina, por el asesoramiento, las recomendaciones, la preocupación, la paciencia y toda la ayuda académica prestada tanto a la hora de redactar como a la hora de analizar los datos.

También quiero agradecer al CEEBA (Comité Ético de Experimentación y Bienestar Animal) de la Universidad de Valladolid por la licencia para poder realizar los experimentos.

Quiero agradecer a todo aquel que me ha apoyado y se ha preocupado por mí en el tiempo que he estado con este proyecto, sobre todo, me gustaría agradecer a los amigos que han estado conmigo y me han dado ánimo durante este duro año, en especial a Sebas y July, que conseguían distraer mi mente de futuros inciertos.

Mi más profundo agradecimiento a mi familia. A mi hermano, por ser un amigo más, que siempre me ha escuchado y ha intentado animarme en todo momento. En especial, quería agradecerle a mi madre, que siempre está apoyándome y ayudándome a seguir adelante, te lo debo todo. Y gracias a ti, papá, que a pesar de que hace tiempo que no puedo disfrutar de ti, estas presente todos los días de mi vida.

Por último, mi más sincero agradecimiento es para Lidia, por ser mi apoyo diario, mi confidente, por soportarme más que nadie, por estar tantos años presente y porque sin ella, estoy seguro, que no habría podido seguir adelante con este proyecto.

En Salamanca, a 26 de junio de 2015

David

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN	6
MATERIAL Y MÉTODOS	11
Roedores experimentales	11
Bellotas experimentales.....	12
Diseño experimental	14
Tratamiento estadístico de los datos.....	18
RESULTADOS.....	19
DISCUSIÓN.....	40
Comportamiento selectivo.....	40
Implicaciones evolutivas en la selección de bellotas para el consumo	42
Comportamiento en la gestión de almacenes.....	43
Patrón de consumo de las bellotas.....	44
CONCLUSIÓN	46
BIBLIOGRAFÍA	48

RESUMEN

Las especies del género *Quercus* son de gran valor ecológico y económico, por lo que han sido objeto de numerosos estudios científicos relacionados con la conservación y gestión forestal. Una de las fases más limitantes en la regeneración natural de quercíneas en ambientes mediterráneos es la fase de reclutamiento, para lo que es necesario previamente que las semillas alcancen micrositios favorables para poder germinar y establecerse, jugando un papel crucial en dicho proceso los dispersantes. El efecto de los roedores en la configuración de las comunidades de quercíneas dependerá de sus preferencias a la hora de seleccionar bellotas, de su conducta en el manejo y procesado durante su consumo, y del comportamiento del roedor en la gestión de las bellotas en los almacenes; aspectos todos ellos que se analizan en el presente estudio. Para ello se diseñaron ocho experimentos de laboratorio con el objetivo de evaluar de forma explícita el comportamiento de cinco *Mus spretus* sin experiencia previa en el consumo de bellotas. Los resultados muestran que el ratón moruno selecciona las bellotas en función de la especie disponible, pero no existe una relación clara con el tamaño de la bellota, existiendo otros factores que pueden influir en la selección como la concentración de taninos o la dureza del endocarpio. El análisis del comportamiento en la gestión de almacenes sugiere que *Mus spretus* utiliza despojos de bellotas para evitar los robos en las madrigueras y, así, preservar las bellotas enteras y mejor conservadas. La evaluación de la forma y manejo de las bellotas en el consumo indican que *Mus spretus* sigue unas conductas destinadas a preservar el embrión, ligado este comportamiento a la especie de *Quercus*. Los experimentos muestran una significativa preferencia por las bellotas de *Quercus ilex*, lo que ayudaría a explicar su dominancia en los bosques mixtos compuestos por especies de *Quercus*.

Palabras clave: *Quercus*, reclutamiento, ecología del comportamiento, *Mus spretus*, selección de bellota, tamaño de la bellota, gestión almacén, supervivencia embrión

ABSTRACT

Quercus species are of great ecological and economic value, so they have been objective of numerous scientific researches related to conservation and management of forest systems. Recruitment is one of the most limiting phases for natural regeneration of *Quercus*' forests in Mediterranean environments, but previously it is necessary that acorns reach favorable microsites for germination and establishment, playing a crucial role in that process the dispersants. The effect of rodents on the configuration of oak communities will depend of their preferences when selecting acorns, their conduct in the management and treatment during consumption, and rodent behavior of acorn management in cache; all of these issues being analysed in this study. For this, eight laboratory experiments were designed to evaluate explicitly the behavior of five *Mus spretus* without previous experience in the consumption of acorns. Results showed that algerian mouse selects acorns depending on the available species, but there is no clear relation with size acorn. There are also other factors that can influence in the selection process, such as the concentration of tannins or hardness of endocarp. Behavior analysis in the cache-management suggests that *Mus spretus* used acorns remains as entertainment to preserve the whole acorns well conserved. The assessment of the way and management of acorns during consumption indicates that *Mus spretus* follows certain behavior designed to preserve the embryo; this behavior, however depends on the *Quercus* species. Experiments show a significant preference of *Mus spretus* for acorns of *Quercus ilex* which would help explain its dominance in mixed forests composed of *Quercus* species.

Key words: *Quercus*, seed–seedling transition, behavioral ecology, Algerian mouse, acorn selection, acorn size, cache management, embryo survival

INTRODUCCIÓN

El género *Quercus* es uno de los géneros de especies leñosas de mayor importancia ecológica y económica, por su amplia distribución geográfica en el hemisferio norte y en la Península Ibérica (Villar *et al.* 2014), sobre todo en ambientes mediterráneos. La importancia de este género reside en que las especies que lo integran son capaces de producir materias primas (madera, leña, corcho, alimento para el ganado), tienen función de regulación del clima (secuestro de carbono y mitigación del cambio climático, formación y protección del suelo) y son elementos clave para el mantenimiento de la biodiversidad (Marañón *et al.* 2014). Por ello, algunas de las especies de este género son centro de atención de numerosos estudios científicos relacionados con la conservación y gestión de ecosistemas forestales. En los últimos años, se ha incrementado el riesgo para la persistencia de algunas poblaciones de quercíneas, sobre todo en los ecosistemas restaurados por los impactos provocados por la acción del hombre (Torroba-Balmori *et al.* 2015), como cambios en los usos del suelo, aumento de la desertificación y la aridez, incremento de las temperaturas, fragmentación de hábitats como consecuencia de la construcción de grandes vías de comunicación y el incremento exponencial del número de herbívoros (Pérez-Ramos 2014).

Una de las fases más limitantes en la regeneración natural de quercíneas en ambientes mediterráneos es la fase de reclutamiento (seed–seedling transition; Herrera 1995; Santos y Tellería 1997; Pulido y Díaz 2005; Pausas *et al.* 2009), considerada también como el “cuello de botella” de la dinámica poblacional de la mayoría de las especies de árboles en bosques temperados (Houle 1992; Clark *et al.* 1998; Le Page *et al.* 2000). El reclutamiento de plántulas incluye tres procesos: germinación, supervivencia de las plántulas emergidas y crecimiento de éstas (Erikson y Ehrlén 2008). Previamente, en la fase de colonización, es necesario que las semillas alcancen micrositios favorables para poder germinar y establecerse, jugando un papel crucial en dicho proceso los dispersantes. En el caso particular de la dispersión de bellotas, roedores (Gómez *et al.* 2003, 2008), arrendajos (Kollmann y Schill 1996, Gómez *et al.* 2003; Den Ouden *et al.* 2005) o incluso escarabajos (Pérez-Ramos *et al.* 2013) han sido identificados como los principales actores. No obstante, estos potenciales dispersantes han sido también identificados como potenciales consumidores de bellotas, debido al gran tamaño y alto contenido nutricional de éstas (Pérez-Ramos 2014), asumiendo, por tanto, un doble papel como depredadores/dispersantes. Así, una alta proporción de las bellotas recién caídas al suelo son devoradas por diferentes animales antes de que puedan llegar a emerger como plántulas (Pérez-Ramos 2014).

En particular, los roedores tienen principalmente dos opciones cuando se encuentran con las semillas: comerlas *in situ* o almacenarlas para un consumo posterior, siendo numerosos los

factores (abióticos y bióticos) de los que depende su conducta (Bonal *et al.* 2007; Morán-López *et al.* 2015). Al actuar como dispersantes, cuando entierran sus semillas en los almacenes y se olvidan de ellas, estos pequeños mamíferos aportan algunos beneficios únicos a la planta, como el de evitar la pérdida de viabilidad de las bellotas por desecación o depredación (Perea *et al.* 2011a), ya que las semillas del género *Quercus* son de tipo recalcitrante y, por tanto, necesitan que su dispersión y enterramiento se hagan lo más rápido posible. A menudo, el enterramiento de las bellotas en almacenes es la única opción para que la planta madre colonice nuevos lugares a grandes distancias (Jansen *et al.* 2004; Gomez *et al.* 2008). No obstante, aunque los roedores puedan dispersar un gran número de semillas, apenas el 4% de la cosecha de bellotas del género *Quercus* sobrevive al consumo (Gómez 2003). Por lo tanto, en muchos casos la interacción planta-roedor se considera más un perjuicio que un beneficio para la planta (Schupp 1990; Mendoza y Dirzo 2007). De hecho, desde un punto de vista cuantitativo la depredación post-dispersiva de bellotas ha sido identificada como otro de los principales “cuellos de botella” en especies de *Quercus* (Pulido y Díaz 2005; Pausas *et al.* 2009; Pérez-Ramos *et al.* 2012). Ahora bien, otros autores argumentan que los animales dispersantes proporcionan un efecto positivo ya que, aunque son relativamente pocas las semillas que sobreviven al consumo, las pocas que sobreviven acaban produciendo una nueva planta (Vander Wall y Longland 2004; Vander Wall *et al.* 2005).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, es obvio el papel que pueden jugar los pequeños roedores en la regeneración natural de las quercíneas. Pero además, el efecto del roedor como depredador/dispersor en la configuración de las comunidades de quercíneas dependerá de sus preferencias nutricionales cuando tenga delante bellotas de diferentes especies del género *Quercus*, como sucede en masas mixtas, afectando de forma distinta a sus tasas de reclutamiento. La actividad selectiva de los roedores adquiere un papel clave en la supervivencia y evolución de las quercíneas, ya que puede marcar la dinámica y composición de las masas forestales, además de influir en la dispersión de semillas hacia áreas nuevas (Xiao *et al.* 2004; Perea *et al.* 2011a; Sunyer *et al.* 2014). Por lo tanto, el estudio de las preferencias de estos animales por bellotas de diferentes especies de *Quercus* es interesante, no sólo desde el punto de vista de su propio comportamiento, sino también por las consecuencias de su actividad sobre la regeneración natural de los bosques de quercíneas (Pulido y Díaz 2005).

Muchos estudios han demostrado cómo diferentes características fisicoquímicas de las bellotas afectan a este comportamiento selectivo en la alimentación y en el almacenamiento de las bellotas, que a su vez puede influir en la dispersión y en el establecimiento de las mismas. Entre estos estudios se encuentran los que han considerado el tamaño de la semilla (Chang *et al.* 2009; Perea *et al.* 2011a), el contenido en nutrientes (Kirkpatrick y Pekins 2001; Shimada

2001; Wang y Chen 2009; de Arco y Carretero 2013), la fenología de la especie (Smallwood *et al.* 2001; Sunyer *et al.* 2014), el espesor del endocarpio (Zhang y Zhang 2008), la infestación por curculiónidos (Bonal *et al.* 2007; Muñoz y Bonal 2008b), los costes de manipulación/transporte (Xiao *et al.* 2004; Muñoz y Bonal 2008a; Chang *et al.* 2009; Sunyer *et al.* 2014), el estado del embrión (Steele *et al.* 2001; Chang *et al.* 2009) y el contenido en taninos (Steele *et al.* 1993; Smallwood *et al.* 2001; Chang *et al.* 2009; Wang y Chen 2009; Xiao *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2013). Finalmente, hay que tener en cuenta, además, que el comportamiento selectivo de los roedores en su alimentación puede responder a un proceso de aprendizaje o ser hereditario (Munoz y Bonal 2008b).

Por otro lado, el modo en qué los roedores procesan las bellotas de diferentes especies de *Quercus* durante el consumo también puede condicionar el que unas especies del género se vean más favorecidas que otras por la presencia de estos micromamíferos (Chang *et al.* 2009). En este sentido, es necesario responder a preguntas como: ¿por dónde comienzan a comerlas?, ¿qué parte prefieren?, ¿las comen por completo?, ¿pueden germinar después de ser comidas?... Algunos estudios, han demostrado que las bellotas consumidas parcialmente pueden germinar, si el embrión permanece intacto (Bonal *et al.* 2007; Yi *et al.* 2013), ya que conservan suficientes reservas para el desarrollo inicial de las plántulas. Steele *et al.* (1993) explican este comportamiento por la mayor concentración de taninos en la zona del embrión, haciendo que sea más desagradable para el roedor y aumentando, así, la probabilidad de supervivencia de los embriones. Bonal *et al.* (2007) indican que las bellotas más grandes pueden saciar más a los roedores, por lo que serían atacadas solo parcialmente, pudiendo dejar intacta la zona del embrión, permitiendo la germinación de la planta y un mayor porcentaje de reclutamiento. En cambio, Yi *et al.* (2012) aseguran que aunque algunas especies de roedores dejan intacto el embrión y guardan las bellotas parcialmente comidas para un consumo posterior antes de que germinen, otros como las ardillas podan el embrión para así evitar que puedan germinar antes de tiempo (Steele *et al.* 2001), lo que les permite tener un control sobre la gestión de bellotas en los almacenes. Está por demostrar que esa conducta ocurra en otras especies de roedores como las existentes en la Península Ibérica.

Otro hecho importante relacionado con el comportamiento de los roedores y con el establecimiento de las plántulas de quercíneas es la gestión de los almacenes, la recuperación de bellotas y las altas tasas de robo entre roedores. Normalmente, los roedores prefieren mordisquear varias bellotas que ingerir una entera, ya que debido a la poca diferencia entre el tamaño del roedor y la bellota, el saciamiento se produce antes (Perea *et al.* 2011b; Yang y Yi 2012). En el estudio de Yang y Yi (2012) se indica que las bellotas comidas parcialmente pueden verse como despojos por los congéneres competidores lo que constituiría una buena estrategia para evitar los robos de bellotas de los almacenes. Como en los almacenes suele

haber más de una bellota, algunas de ellas pueden estar empezadas, ya sea porque se ha producido saciamiento o por intento de repeler a otros roedores, o bien puede haber bellotas totalmente intactas para un consumo posterior cuando la escasez de alimentos sea mayor. Varios estudios han constatado la intensa gestión de los almacenes para pasar el invierno y evitar pérdidas por ladronzuelos (Steele *et al.* 2008; Jansen *et al.* 2010). Estos autores creen que el comportamiento del roedor frente a la bellota y la gestión de los almacenes sigue señales identificativas como el olor o la forma en la que estén comidas. Los diferentes estados en los que se pueden encontrar las bellotas en el almacén sugieren, por tanto, que el comportamiento del roedor en los almacenes varía según la situación ecológica en que se encuentre (altas tasas de depredación, presencia de refugio, competencia intraespecífica, robos, fragmentación de hábitat, escasez de alimentos). Los roedores pueden mordisquear bellotas para evitar el robo por otros ratones, o directamente prefieren morder bellotas ya atacadas o ya empezadas por simple comodidad, relegando las bellotas intactas solo a épocas de escasez. Según Steele *et al.* (2011) el robo de las semillas favorece el establecimiento de plántulas, incrementando la dispersión y la re-dispersión una vez que se haya enterrado la bellota. Esto permitiría que las bellotas que no se lleguen a consumir puedan germinar y contribuir al reclutamiento de una nueva planta.

Por todo lo expuesto anteriormente se justifica la necesidad de abordar estudios multidisciplinarios que relacionen los rasgos fisiológicos de las semillas (bellotas) con las características del comportamiento de los roedores y su papel en la estructura de los bosques de quercíneas y en los niveles o patrones de reclutamiento y regeneración de estas especies. El estudio de la interacción bellota-roedor resulta imprescindible y requiere estudios tanto observacionales como experimentales, siendo necesario un análisis exhaustivo de la conducta de las especies de roedores durante el proceso de consumo de bellotas. La amplia valencia ecológica de los roedores hace que su actividad selectiva y dispersora de bellotas adquiera un papel clave en el estudio de la dinámica (regeneración y perpetuación) de masas forestales de quercíneas, ya que su actuación no se limita exclusivamente a una escala local. El comportamiento de estos pequeños mamíferos adquiere, por tanto, gran relevancia debido a su gran área de actuación, ya que están presentes en casi cualquier tipo de hábitat y abarcan una extensa distribución geográfica.

En esta línea se plantea este estudio con el propósito de analizar el comportamiento del ratón moruno (*Mus spretus*), que junto al ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), ha demostrado ser una de las principales especies dispersoras y depredadoras de bellotas en los ambientes mediterráneos a la hora de seleccionar bellotas para su consumo. Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

1) Comprobar cuáles son las preferencias de consumo de *Mus spretus* frente a las bellotas de varias especies del genero *Quercus* (7 peninsulares y 1 exótica), que difieren en características físicas (tamaño de la bellota, morfología), composición (contenido en taninos) y palatabilidad (valor nutricional). Al introducir, entre las especies de *Quercus* seleccionadas, una exótica, con la que la especie de roedor no ha entrado en contacto a lo largo de su historia evolutiva, se verá si es capaz de seleccionarla en base de sus características intrínsecas, a pesar de no formar parte de su dieta habitual. El empleo de individuos sin experiencia previa en el consumo de las bellotas quizás pueda también proporcionar información sobre el papel del aprendizaje en la elección de semillas dependiendo del contexto ecológico en el que se encuentren los individuos. Los resultados derivados de este objetivo ayudarán a explicar, en parte, el diferente predominio de diferentes especies de quercíneas en masas mixtas. Para la consecución de este objetivo se plantean los experimentos 1 y 2.

2) Constatar si esta especie de roedor practica un consumo parcial de bellotas, de acuerdo con la hipótesis del saciamiento (Bonal *et al.* 2007), como lo hace la especie con la que comparte hábitat (*Apodemus sylvaticus*) según los estudios realizados por Perea *et al.* 2011b. Para la consecución de este objetivo se plantea el experimento 6. El comportamiento hereditario de esta especie también se evaluara con este objetivo ya que los ratones no tienen ninguna experiencia en la forma y manejo de las bellotas durante el consumo.

3) Determinar si *Mus spretus* presenta una conducta durante el consumo de bellotas encaminada a preservar los embriones de las bellotas que consume, tal y como hace la especie homóloga *Apodemus sylvaticus*, según Perea *et al.* 2011b. Para la consecución de este objetivo se plantean los experimentos 7A y 7B. Puesto que los ratones usados en el experimento han sido criados en cautividad y su alimentación no incluía bellotas, estos experimentos también arrojaran evidencias de si su comportamiento al respecto (comer bellotas parcialmente preservando el embrión) es hereditario.

4) Identificar el comportamiento de *Mus spretus* con las bellotas de los almacenes de suministros y los mecanismos de gestión de dichos almacenes, bajo la hipótesis de que el consumo parcial de bellotas podría constituir una estrategia para evitar el pillaje en los almacenes, al ser vistas las bellotas parcialmente comidas como despojos por los competidores (Yang y Yi 2012). Para la consecución de este objetivo se plantean los experimentos 3, 4 y 5.

MATERIAL Y MÉTODOS

Roedores experimentales

El estudio se llevó a cabo entre septiembre de 2014 y febrero de 2015. Se utilizó el ratón argelino o ratón moruno (*Mus spretus*) por ser, junto al ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), una de las principales especies depredadoras y dispersoras de semillas del género *Quercus* en ambientes mediterráneos (Bonat 2007; Gómez 2008; Perea *et al.* 2011a, 2011b; Muñoz y Bonat 2008a, 2008b). En particular, *Mus spretus* está considerado como una especie clave para el reclutamiento de especies del género *Quercus* (Pulido y Díaz 2005). El ratón moruno es un pequeño roedor (8-20 g) propio de la región Mediterránea. Su identificación visual es fácil debido a sus pequeñas orejas y ojos que junto al tamaño de su cola, lo diferencian del ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*). Su vida media es de 12 a 14 meses, pudiendo llegar a vivir hasta los dos años en cautividad. La edad del animal puede determinarse visualmente observando las mudas. La primera muda se produce al pasar del estado joven al de subadulto, lo que ocurre entre la 3ª y 5ª semana de vida. A partir de la 5ª semana la muda alcanza la categoría definitiva de adulto. Los jóvenes alcanzan la madurez sexual a las 4-5 semanas. El ratón moruno es sexualmente activo todo el año, con un periodo de gestación de 21 días tras el cual las hembras pueden dar a luz de 3 a 10 crías. Las bellotas constituyen la mayor parte de su dieta durante las épocas de otoño e invierno (Bonat 2007; Leiva y Fernández 2003).

En febrero de 2014 se capturaron varios ejemplares de ratón moruno mediante el uso de trampas de captura viva “Sherman” de medidas 23 x 8 x 9,5 cm. Estos primeros roedores capturados se consideran “individuos con experiencia” en la selección y manejo de las bellotas. Los ejemplares capturados se mantuvieron en cautividad para poder realizar crías repetidas y obtener “individuos sin experiencia” en el trato con bellotas. Una vez que terminó el período de lactancia, se han seleccionado los 5 ratones (3 hembras y 2 machos) de una camada nacida en septiembre de 2014, por lo que no tenían experiencia en la alimentación con bellotas. Todos los ratones se mantuvieron en el laboratorio de Ecología con licencia de la Junta de Castilla y León y del CEEBA (Comité Ético de Experimentación y Bienestar Animal) de la Universidad de Valladolid (Nº de registro 2905447). Todos los roedores estaban sanos cuando se capturaron, se mantuvieron sanos durante la cría y continuaron así durante los experimentos.

Los cinco *Mus spretus* seleccionados para la investigación se alojaron individualmente en terrarios de 62 x 45 x 47 cm (Muñoz y Bonat 2008b), a los que se le añadió una capa de tierra y piedras de 5 cm de profundidad y material de enriquecimiento para que fabricasen lugares de nidificación, como botellas de plástico cortadas y enterradas y algodón, que les sirvió como nido y como aislante térmico. Se les proporcionó pienso para roedores, fruta y agua en abundancia, a excepción de en las fechas en las que se realizaron los experimentos, en las que únicamente se les facilitaba el agua y las bellotas experimentales. Un día antes de

comenzar cada experimento se retiraban los restos de alimento que pudieran quedar de los días anteriores, para asegurarnos de que las bellotas experimentales eran la única fuente de alimento disponible, y para evitar que estuvieran saciados y no mostraran interés por las bellotas. Los terrarios se encontraban a temperatura ambiente de entre 7 y 15°C, y en condiciones de luminosidad siguiendo ciclos de fotoperíodo naturales (12:12 h, luz: oscuridad). Los roedores fueron pesados con dinamómetros (marca: "Salter"; modelo: "Super Samson") antes del primer experimento, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre sexos (♂ 12,65 ± 0,43 g; ♀ 11,77 ± 0,35 g; t =1,8837, p=0,16). El peso medio para el conjunto de los cinco ratones sin diferenciar sexos fue de 12,12 ± 0,29 g antes del primer experimento. Tampoco se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre sexos para las dimensiones de los ratones previas a la experimentación (longitudes: total, de la cola y del cuerpo).

Bellotas experimentales

Para la realización de los experimentos se utilizaron bellotas de 8 especies de *Quercus* que difieren en sus características intrínsecas (características físicas, composición y palatabilidad; Cantos *et al.* 2003; Perea *et al.* 2011c). Siete de ellas son de las más representadas en la Península Ibérica (*Q. ilex* subsp. *ballota*, *Q. pyrenaica*, *Q. suber*, *Q. faginea*, *Q. coccifera*, *Q. petraea*, *Q. robur*), y se incluye, además, una especie exótica de Hungría (*Q. frainetto*). Los lugares de procedencia de las bellotas seleccionadas fueron: *Q. ilex* (Las Batuecas, Salamanca, 40°27'44.06"N), *Q. pyrenaica* (Guardo, Palencia 42°47'47.03"N), *Q. faginea* (Hontoria de Cerrato, Palencia 41°53'58.65"N), *Q. coccifera* (Hontoria de Cerrato, Palencia 41°53'58.65"N), *Q. suber* (Las Batuecas, Salamanca, 40°27'44.06"N), *Q. petraea* (Guardo, Palencia 42°47'47.03"N), *Q. robur* (Etxarri-Aranatz, Navarra 42°54'45.11"N), y *Q. frainetto* (campus de la Yutera, Palencia 41°59'13.18"N).

Una vez recogidas, las bellotas se almacenaron en cámaras de frío constante para mantener su humedad y condiciones iniciales, hasta el inicio de los experimentos en noviembre de 2014.

En total se realizaron 8 experimentos entre noviembre de 2014 y febrero de 2015. Previamente a la realización de cada experimento se iban seleccionando las bellotas de las especies implicadas, tras comprobar su buen estado de salud visualmente y por la técnica de flotación; las bellotas que flotaban y/o estaban infestadas por curculiónidos fueron desechadas. Teniendo en cuenta que el tamaño de las bellotas varía considerablemente entre especies, entre poblaciones y entre individuos (Ruipérez 1957; Soria *et al.* 1996; Leiva y Fernández 1998), se procuró que las bellotas de la misma especie empleadas en el mismo experimento fueran similares entre sí, en peso y dimensiones. No obstante, las bellotas de las 8 especies

utilizadas en el experimento 1 difieren significativamente entre sí (Tabla 1), en peso fresco (Kruskal-Wallis test: $H_{[7,240]} = 192,35$; $p < 0,001$), longitud de la bellota desde la parte basal a la parte distal (Kruskal-Wallis test: $H_{[7,240]} = 177,30$; $p < 0,001$) y en el diámetro en la zona más ancha de la bellota (Kruskal-Wallis test: $H_{[7,240]} = 189,05$; $p < 0,001$). En el experimento 2 las bellotas también fueron significativamente diferentes entre especies (Tabla 2), en peso fresco (Kruskal-Wallis test: $H_{[4,150]} = 104,76$; $p < 0,001$), longitud de la bellota desde la parte basal a la parte distal (Kruskal-Wallis test: $H_{[4,150]} = 92,80$; $p < 0,001$) y en el diámetro en la zona más ancha de la bellota (Kruskal-Wallis test: $H_{[4,150]} = 69,35$; $p < 0,001$).

Tabla 1. Peso fresco (g; media \pm error estándar), longitud (mm; media \pm error estándar) y diámetro en la zona más ancha (mm; media \pm error estándar) de las bellotas de las diferentes especies usadas en el experimento 1.

<i>Quercus sp</i>	Peso fresco (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
<i>Q. ilex</i>	4,17 \pm 0,14	29,77 \pm 0,32	14,70 \pm 0,26
<i>Q. pyrenaica</i>	4,03 \pm 0,06	27,68 \pm 0,26	14,24 \pm 0,16
<i>Q. robur</i>	5,67 \pm 0,05	27,47 \pm 0,16	16,64 \pm 0,09
<i>Q. petraea</i>	4,08 \pm 0,10	24,47 \pm 0,21	15,23 \pm 0,21
<i>Q. faginea</i>	2,99 \pm 0,09	24,86 \pm 0,36	12,44 \pm 0,17
<i>Q. suber</i>	6,74 \pm 0,20	31,18 \pm 0,58	17,33 \pm 0,17
<i>Q. coccifera</i>	3,33 \pm 0,09	25,08 \pm 0,34	13,83 \pm 0,11
<i>Q. frainetto</i>	7,35 \pm 0,24	36,35 \pm 0,58	17,99 \pm 0,18

Tabla 2. Peso fresco (g; media \pm error estándar), longitud (mm; media \pm error estándar) y diámetro en la zona más ancha (mm; media \pm error estándar) de las bellotas de las diferentes especies usadas en el experimento 2.

<i>Quercus sp</i>	Peso fresco (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
<i>Q. ilex</i>	4,83 \pm 0,11	30,61 \pm 0,37	15,05 \pm 0,20
<i>Q. pyrenaica</i>	4,00 \pm 0,17	26,09 \pm 0,29	14,06 \pm 0,34
<i>Q. robur</i>	6,03 \pm 0,13	27,79 \pm 0,16	16,68 \pm 0,24
<i>Q. petraea</i>	4,32 \pm 0,11	24,30 \pm 0,33	15,23 \pm 0,19
<i>Q. faginea</i>	2,97 \pm 0,09	25,09 \pm 0,33	12,81 \pm 0,34

En total se utilizaron 1680 bellotas, y todas fueron pesadas en balanza digital “Sartorius Extend” (Error: \pm 0,01g) antes y después de cada experimento. En los experimentos 1-6, las bellotas se identificaron mediante una etiqueta de plástico unida a un alambre de metal (5 cm de largo; 0,6mm de diámetro) que se introducía en la bellota mediante una perforación diminuta (0,4mm) realizada con un punzón (Xiao *et al.* 2004; Yi *et al.* 2012). La perforación se realizaba en el extremo basal de la bellota para evitar hacer daño al embrión. El peso del alambre con la etiqueta (0,5 \pm 0,1 g) se añadía al peso de la bellota, por lo que en todos estos experimentos se

utilizó el peso (bellota + alambre y etiqueta), ya que es el peso de las bellotas que los roedores recibían.

En los experimentos 7A y 7B las bellotas se cortaron por la mitad transversalmente y se identificaron mediante un trozo de plástico (2 cm largo; 2 cm ancho) unido a un clavo que perforaba la bellota (0,2mm) por la zona interior, sin afectar a la parte basal ni a la parte del embrión. El peso del plástico con el clavo ($0,125 \pm 0,1$ g) se añadía al peso de la bellota, por lo que en estos experimentos se utilizó el peso (bellota + plástico y clavo) ya que es el peso que los roedores recibían.

En todos los experimentos las bellotas se colocaron cada día a las 14:00 h en un lateral dentro del terrario, con una separación aproximada de 2-3 cm y alternando las especies de forma aleatoria, retirándose el día siguiente a las 9:00 h. En el momento de retirar las bellotas, en los experimentos 1 y 2 se tomó nota de los siguientes datos: número de bellotas comidas e intactas de cada especie, peso de las bellotas mordidas, observaciones sobre la zona de consumo y si el consumo era parcial o total. En los experimentos 3, 4 y 5, los datos tomados fueron los siguientes: número de bellotas comidas de cada especie (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*) y tipo (previamente intactas o parcialmente comidas por el mismo ratón, parcialmente comidas por otro ratón), peso de las bellotas mordidas, y observaciones sobre la zona de consumo, y si el consumo era parcial o total. En el experimento 6, los datos tomados fueron: número de bellotas comidas de cada especie (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*), peso de las bellotas mordidas, zona de consumo (basal y/o distal), estado del embrión y observaciones sobre la zona de consumo, el destino de la bellota (enterramiento) y si el consumo era parcial o total. Por último, en los experimentos 7A y 7B, se recogió la siguiente información una vez que se retiraban las bellotas: número de mitades de cada tipo comidas, peso de las mitades mordidas, estado del embrión y observaciones sobre la zona de consumo dentro de cada mitad, el destino de la bellota (enterramiento) y si el consumo era parcial o total.

Diseño experimental

Experimento 1: Preferencia por bellotas de siete quercíneas de la Península Ibérica y una exótica

Se utilizaron bellotas de 8 especies del género *Quercus* (siete nativas de la Península Ibérica y una exótica) para comprobar la preferencia alimentaria de *Mus spretus* sin haber tenido experiencia previa en el consumo de bellotas. El experimento duró 3 días, en noviembre de 2014. Cada día del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibía para su consumo 2 bellotas de cada especie, previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tenía a su disposición 16 bellotas en total (2 bellotas x 8 especies de *Quercus*). En total, para los 3 días que duró el experimento fueron necesarias 240 bellotas (2 bellotas x 8 especies de *Quercus* x 5 ratones x 3 días).

Experimento 2: Preferencia por bellotas de las cinco especies ibéricas más demandadas

En este experimento se utilizaron bellotas de las cinco especies nativas de *Quercus* más demandadas, de acuerdo con los resultados del experimento 1. Las especies eliminadas fueron: la especie exótica (*Q. frainetto*), que fue la más activamente comida en el experimento anterior, junto a *Q. suber* y *Q. coccifera*, que fueron las menos comidas. De este modo se pretende comprobar mejor la prioridad de elección entre las especies nativas más preferidas. El experimento duró 3 días, en diciembre de 2014. Cada día del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibía para su consumo 2 bellotas de cada especie, previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tenía a su disposición 10 bellotas en total (2 bellotas x 5 especies de *Quercus*). En total, para los 3 días que duró el experimento fueron necesarias 150 bellotas (2 bellotas x 5 especies de *Quercus* x 5 ratones x 3 días).

Experimento 3: Preferencia por bellotas abiertas por el consumidor o intactas: ¿Es costoso abrir una bellota?

Este experimento sirve para estudiar el comportamiento y los mecanismos que sigue *Mus spretus* para conservar los suministros en los almacenes. Para este experimento se utilizan únicamente las bellotas por las que *Mus spretus* muestra una mayor preferencia, de acuerdo con los resultados de los experimentos 1 y 2, que son las de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*. Se proporcionó, a cada ratón cada día, 8 bellotas de cada especie, la mitad de ellas de un tipo diferente: 4 bellotas intactas y 4 bellotas parcialmente comidas por cada ratón la noche anterior. De este modo, se analizó si el mismo roedor prefiere abrir nuevas bellotas, las intactas, dejándolas parcialmente consumidas para que sean vistas como despojos por posibles competidores ladrones o si, por el contrario, prefiere seguir consumiendo las bellotas que abrió la noche anterior para ahorrarse el esfuerzo de tener que quitar la cáscara de las intactas. El experimento duró 2 días, en diciembre de 2014. Cada día del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibía para su consumo 8 bellotas de cada especie (4 intactas y 4 parcialmente comidas), previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tenía a su disposición 16 bellotas en total (8 bellotas x 2 especies de *Quercus*). En total, para los 2 días que duró el experimento fueron necesarias 160 bellotas (8 bellotas x 2 especies de *Quercus* x 5 ratones x 2 días). La mitad de las bellotas fueron suministradas a los ratones la noche anterior al inicio del experimento para disponer de bellotas previamente mordidas por ellos.

Experimento 4: Preferencia por bellotas abiertas por un congénere o intactas: ¿Son despojos las bellotas parcialmente comidas por otro ratón?

Este experimento sirve para estudiar el comportamiento y los mecanismos que sigue *Mus spretus* a la hora de robar suministros en almacenes vecinos. Se comprueba si el consumo parcial de bellotas sirve para evitar el pillaje en los almacenes. Para este experimento se utilizan únicamente las bellotas por las que *Mus spretus* muestra una mayor preferencia, de acuerdo con los resultados de los experimentos 1 y 2, que son las de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*. Se proporcionó, a cada ratón cada día, 8 bellotas de cada especie, la mitad de ellas de un tipo diferente: 4 bellotas intactas y 4 bellotas parcialmente comidas por otro ratón la noche anterior. De esta forma se pretendió simular que estos restos de bellota pueden ser despojos de un competidor.

El experimento duró 2 días, en enero de 2015. Cada día del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibía para su consumo 8 bellotas de cada especie (4 intactas y 4 parcialmente comidas por otro ratón), previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tenía a su disposición 16 bellotas en total (8 bellotas x 2 especies de *Quercus*). En total, para los 2 días que duró el experimento fueron necesarias 160 bellotas (8 bellotas x 2 especies de *Quercus* x 5 ratones x 2 días). La mitad de las bellotas fueron suministradas a los ratones la noche anterior al inicio del experimento para disponer de bellotas previamente mordidas por otros ratones.

Experimento 5: Preferencia por bellotas abiertas por el consumidor o por un congénere ¿Sus despojos o los míos?

Tras los resultados de los experimentos 3 y 4, se plantea el siguiente para comprobar si *Mus spretus* prefiere consumir los restos de bellotas procedentes de un competidor o consumir los propios. Se comprobaría así si el consumo parcial de bellotas sirve para evitar el pillaje en los almacenes o si por el contrario estimula el consumo de bellotas ajenas para reducir los recursos de los posibles competidores.

Para este experimento se utilizan únicamente las bellotas por las que *Mus spretus* muestra una mayor preferencia, de acuerdo con los resultados de los experimentos 1 y 2, que son las de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*. Se proporcionó, a cada ratón cada día, 8 bellotas de cada especie: la mitad de ellas parcialmente comidas por el mismo ratón la noche anterior y la otra mitad parcialmente comidas por otro ratón la noche anterior. De esta forma se comprueba si *Mus spretus* prefiere consumir bellotas de su propia despensa o terminar con las bellotas de competidores y evitar así su competencia.

El experimento duró 2 días, en enero de 2015. Cada día del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibía para su consumo 8 bellotas de cada especie (4 parcialmente comidas por el propio ratón y 4 parcialmente comidas por otro ratón), previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tenía a su disposición 16 bellotas en total (8 bellotas x 2 especies del género *Quercus*). En total, para los 2 días que duró el experimento fueron necesarias 160 bellotas (8 bellotas x 2 especies de *Quercus* x 5 ratones x 2 días). La mitad de las bellotas fueron suministradas a los ratones la noche anterior al inicio del experimento para disponer de bellotas previamente mordidas por ellos.

Experimento 6: Pautas de consumo zonal de las bellotas ¿consumo total o parcial? ¿Prefieren el extremo basal o el distal?

El experimento permite conocer si los ratones de la especie *Mus spretus*, sin experiencia previa en el tratamiento de bellotas, practican un consumo parcial de bellotas, y si este consumo está dirigido zonalmente hacia la zona basal, como lo hace la especie con la que comparte hábitat, *Apodemus sylvaticus*, según los estudios realizados por Perea *et al.* (2011). Para este experimento se utilizan únicamente las bellotas por las que *Mus spretus* muestra una mayor preferencia, de acuerdo con los resultados de los experimentos 1 y 2, que son las de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*.

El experimento duró 6 días, en enero de 2015. Los 3 primeros días del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibía para su consumo 10 bellotas intactas de cada especie, previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tuvo a su disposición 20 bellotas en total (10 bellotas x 2 especies de *Quercus*). Los 3 días restantes se les proporcionaron 7 bellotas intactas de cada especie, por lo que cada ratón tuvo a su disposición 14 bellotas en total (7 bellotas x 2 especies de *Quercus*). En total, para los 6 días que duró el experimento fueron necesarias 510 bellotas (10 bellotas x 2 especies de *Quercus* x 5 ratones x 3 días + 7 bellotas x 2 especies de *Quercus* x 5 ratones x 3 días).

Experimento 7A: Preferencia por el lugar de consumo en bellotas de Quercus ilex

El experimento permite conocer si los ratones de la especie *Mus spretus* sin experiencia previa en el tratamiento de bellotas presentan una conducta durante su consumo de bellotas encaminada a preservar o consumir los embriones de las bellotas. La especie homóloga *Apodemus sylvaticus*, según Perea *et al.* (2011), preserva el embrión consumiendo preferentemente las bellotas de *Quercus ilex* por la parte basal. Para este experimento se utilizan únicamente bellotas de *Q. ilex*. Las bellotas se cortan transversalmente quedando expuestas las zonas centrales (zona de corte). Estas zonas centrales se tapan con un plástico para evitar que los roedores empiecen a consumir las bellotas por ahí, dada la facilidad que presentan para acceder a los cotiledones sin tener que morder la cáscara. Se distinguen, por

tanto, dos categorías: zona basal y zona del embrión o distal. La duración de este experimento fue de 3 días en febrero de 2015. Cada día del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibió para su consumo 10 mitades de bellotas de cada categoría (zona basal y distal), previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tenía a su disposición 20 mitades de bellotas en total (10 mitades basales + 10 mitades distales). En total, para los 3 días que duró el experimento fueron necesarias 150 bellotas (10 bellotas x 5 ratones x 3 días).

Experimento 7B: Preferencia por el lugar de consumo en bellotas de Quercus pyrenaica

El experimento permite conocer si los ratones pertenecientes a la especie *Mus spretus* sin experiencia previa en el tratamiento de bellotas presentan una conducta durante el consumo de bellotas encaminada a preservar o consumir los embriones de las bellotas, tal y como hace la especie homóloga *Apodemus sylvaticus* según Perea *et al.* (2011). Para este experimento se utilizan únicamente bellotas de *Q. pyrenaica*. Las bellotas se cortan transversalmente quedando expuestas las zonas centrales (zona de corte). Estas zonas centrales se tapan con un plástico para evitar que los roedores empiecen a consumir las bellotas por ahí. Se distinguen, por tanto, dos categorías: zona basal y zona del embrión o distal. La duración de este experimento fue de 3 días en febrero de 2015. Cada día del experimento, cada individuo de *Mus spretus* seleccionado recibió para su consumo 10 mitades de bellotas de cada categoría (zona basal y distal), previamente identificadas y pesadas, por lo que cada ratón tenía a su disposición 20 mitades de bellotas en total (10 mitades basales + 10 mitades distales). En total, para los 3 días que duró el experimento fueron necesarias 150 bellotas (10 bellotas x 5 ratones x 3 días).

Tratamiento estadístico de los datos

Se utilizó el test de independencia de los caracteres de la Chi-cuadrado (χ^2) para evaluar la relación entre los porcentajes de bellotas mordidas y diferentes variables según cada experimento, tales como: la especie de *Quercus*, el día del experimento y el individuo (ratón), el tipo de bellota (intacta, mordida por el mismo ratón, mordida por otro) y la parte preferida (basal, distal).

Las diferencias en peso (g) de la cantidad de bellota comida según dichas variables se analizaron mediante contrastes de hipótesis de igualdad de medias, haciendo uso de la estadística paramétrica para aquellas variables que cumplían las asunciones de normalidad y homocedasticidad. En concreto, se empleó el estadígrafo de contraste t de Student para comparar entre dos grupos de datos (por ejemplo, entre dos días de experimentación, entre dos especies de *Quercus*, entre dos tipos de bellotas, o entre las dos partes de las bellotas (basal y distal), y el análisis de la varianza de una vía (ANOVA) para comparar entre más de dos grupos de datos, seguido de los contrastes a posteriori con el test de Tukey. Para la

verificación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad se utilizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente (Guisande *et al.* 2011). Para aquellas variables que no cumplían las asunciones de normalidad y homocedasticidad se hizo uso de la estadística no paramétrica. En concreto, del test U de Mann-Whitney para comparar entre dos grupos de datos, y del test de Kruskal-Wallis para comparar entre más de dos grupos de datos, seguido de todas las posibles comparaciones por pares mediante el test U de Mann-Whitney tras corregir el nivel de significación con el ajuste de Bonferroni con el fin de evitar cometer errores de tipo I.

También se utilizó la t de Student para comparar el peso (g) y dimensiones (longitud en cm, total, del cuerpo y de la cola) de los roedores usados en los experimentos en función del sexo, y el test de Kruskal-Wallis y posteriores comparaciones por pares mediante el test U de Mann-Whitney y corrección de Bonferroni para comparar el peso y dimensiones de las bellotas de diferentes especies utilizadas en los experimentos 1 y 2.

Para el test de independencia de los caracteres de la Chi-cuadrado (χ^2) se empleó el programa R, versión 2.15.3 (R Development Core Team, Vienna Austria, <http://www.R-project.org>). Para los contrastes de hipótesis de igualdad de medias el paquete estadístico utilizado fue el programa STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA).

RESULTADOS

Experimento 1: Preferencia de *Mus spretus* por las bellotas de ocho especies de *Quercus*.

El primer resultado que se observa al analizar los datos es que el porcentaje de bellotas mordidas por el conjunto de cinco ratones durante los tres días que duró el experimento depende significativamente de la especie de *Quercus* (Tabla 1; $\chi^2=135,81$; $gl=7$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). También considerando cada día del experimento por separado, el porcentaje de bellotas comidas por el conjunto de cinco ratones depende de la especie de *Quercus* (día 1: $\chi^2=113,646$; $gl=7$; $p<0,001$; día 2: $\chi^2=158,67$; $gl=7$; $p<0,001$; día 3: $\chi^2=188,40$; $gl=7$; $p<0,001$). Estos resultados indican que *Mus spretus* muestra una mayor preferencia por bellotas de determinadas especies de *Quercus*. En general, considerando los valores medios de los tres días, *Mus spretus* prefiere bellotas de *Q. frainetto* (el 76,7% de las bellotas de esta especie fueron atacadas), seguidas de las de *Q. pyrenaica* (60,0%), *Q. ilex* (56,7%) y *Q. faginea* (43,3%) y, en menor medida, de *Q. petraea* (27,7%) y *Q. robur* (20,0%). Las bellotas menos atacadas fueron las de *Q. coccifera* (6,7%) y *Q. suber* (3,3%). La misma tendencia se observa si se calculan los porcentajes de bellotas atacadas de cada especie respecto del total de bellotas atacadas para el conjunto de especies (Tabla 2).

Tabla 1. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* consumidas por *Mus spretus* (para el conjunto de los cinco individuos) en los tres días del experimento.

<i>Quercus</i> spp.	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
<i>Q. frainetto</i>	70	80	80	76,7
<i>Q. pyrenaica</i>	80	60	40	60,0
<i>Q. ilex</i>	50	60	60	56,7
<i>Q. faginea</i>	40	50	40	43,3
<i>Q. petraea</i>	30	30	20	26,7
<i>Q. robur</i>	40	10	10	20,0
<i>Q. suber</i>	20	0	0	6,7
<i>Q. coccifera</i>	0	10	0	3,3
Promedio	41,3	37,5	31,3	36,7

Tabla 2. Número y porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* consumidas por *Mus spretus* respecto del total de bellotas atacadas, por el conjunto de los cinco ratones en los tres días que duró el experimento.

Especie	<i>Quercus</i> spp.	Nº bellotas	%
Roble Hungría	<i>Q. frainetto</i>	23	26,14
Rebollo	<i>Q. pyrenaica</i>	18	20,45
Encina	<i>Q. ilex</i>	17	19,32
Quejigo	<i>Q. faginea</i>	13	14,77
Albar	<i>Q. petraea</i>	8	9,09
Carballo	<i>Q. robur</i>	6	6,82
Alcornoque	<i>Q. suber</i>	2	2,27
Coscoja	<i>Q. coccifera</i>	1	1,14
Total		88	100%

Comparando el porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* atacadas por el conjunto de los cinco *Mus spretus* en cada uno de los tres días que duró el experimento (Tabla 1), se observa que existe una relación estadísticamente significativa entre ambas variables ($\chi^2=94,72$; $gl=14$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). Esto significa que dependiendo de la especie de *Quercus*, los ratones morunos comen porcentajes diferentes de bellotas según el día en que se realiza el experimento.

En cambio, si se analiza el porcentaje total de bellotas atacadas por el conjunto de los cinco roedores sin diferenciar la especie de *Quercus* se observa que la relación es independiente del día (Tabla 1; día 1: 42,3%, día 2: 37,5% y día 3: 31,3%; $\chi^2=1,39$; $gl=2$; $p=0,499$; test de la Chi-cuadrado). Por lo que el porcentaje total de las bellotas atacadas por el grupo de cinco ratones es similar durante los tres días que dura el experimento. En conjunto los cinco ratones han atacado el 36,7% de las bellotas disponibles.

El porcentaje total de bellotas (sin diferenciar entre especies de *Quercus*) atacadas por cada ratón durante los tres días que duró el experimento (Tabla 3) oscila entre 22,9% (ratón nº 1) y 45,8% (ratón nº 5), aunque dichos porcentajes no difieren significativamente ($\chi^2=8,68$; $gl=4$; $p=0,069$; test de la Chi-cuadrado). No obstante, sí se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón y el día del experimento ($\chi^2=32,65$; $gl=8$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado), lo que significa que aunque cada ratón ataque a la misma proporción de bellotas en el transcurso del experimento, algunos ratones no comen proporciones parecidas de bellotas todos los días (es el caso de los ratones 1 y 5; Tabla 3).

El consumo medio diario de bellotas (en gramos) por ratón es de 4,14 g y no difiere, con significación estadística, entre ratones (Figura 1; ANOVA: $F_{[4,10]}=0,718$; $p=0,598$), aunque los

ratones 1 y 5 son los que menos gramos de bellotas ingieren al día. Lo que sí se observa es una tendencia creciente, estadísticamente significativa, en el consumo de bellotas por parte de los ratones a medida que transcurre el tiempo de puesta en marcha del experimento (Figura 2; ANOVA: $F_{[2,12]} = 7,05$; $p = 0,009$). Es decir, que en general los ratones tienden a ingerir más cantidad diaria de bellotas el tercer día (5,06 g) que el primero (2,95 g).

Tabla 3. Porcentaje de bellotas (sin diferenciar especies de *Quercus*) atacadas por cada individuo de *Mus spretus* en los tres días del experimento.

Número de ratón	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
1	12,5	31,35	25,0	22,9
2	43,8	43,8	31,3	39,6
3	37,5	50,0	37,5	41,7
4	37,5	31,3	31,3	33,3
5	75,0	31,3	31,3	45,8
Promedio	41,3	37,5	31,3	36,7

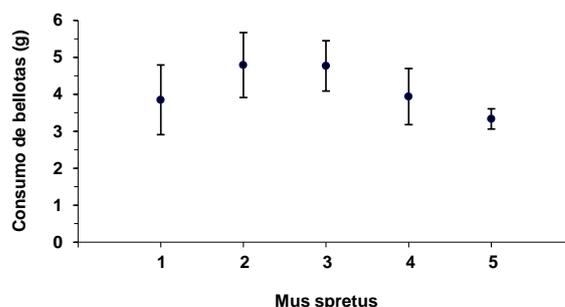


Figura 1. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por ratón en los tres días que duró el experimento 1 ($n = 3$ días).

También se observa que el consumo medio (en gramos) diario de cada ratón difiere significativamente entre las diferentes especies de *Quercus* utilizadas (Figura 3; Kruskal-Wallis test: $H_{[7,120]} = 56,11$; $p < 0,001$), siendo *Q. frainetto* la especie más apetecible (consumo medio de 1,75 g por ratón y día; el 42,27% de la biomasa total de bellotas ingerida), seguida por *Q. ilex* (consumo medio de 1,29 g por ratón y día; el 31,16% de la biomasa total de bellotas ingerida) y en menor medida por *Q. pyrenaica* (consumo medio de 0,53 g por ratón y día; el 12,8% de la biomasa total de bellotas ingerida). Las demás especies de *Quercus* sufren un consumo medio por debajo de 0,2 g por ratón y suponen entre todas menos del 14% de la biomasa total ingerida.

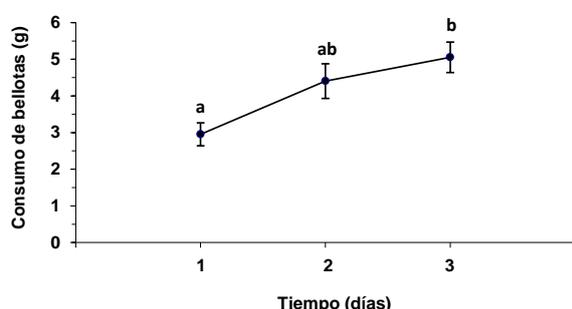


Figura 2. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por día ($n = 5$ ratones) en el experimento 1. Diferente letras en la figura indican diferencias estadísticamente significativas entre días ($p < 0,01$).

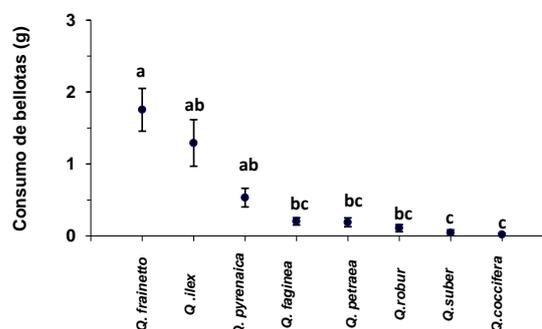


Figura 3. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas de cada especie de *Quercus* por ratón y día ($n = 15$). Diferentes letras en la figura indican diferencias estadísticamente significativas entre especies ($p < 0,01$).

Experimento 2: Preferencia de *Mus spretus* por las bellotas de cinco especies de *Quercus*.

Al comprobar la preferencia eliminando 3 especies de *Quercus*, se puede observar que el porcentaje medio de bellotas comidas por el conjunto de cinco ratones sin diferenciar el día del experimento sigue dependiendo de la especie de *Quercus* (Tabla 4; $\chi^2=32,74$; $gl=4$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). También considerando cada día del experimento por separado, el porcentaje de bellotas comidas por el conjunto de cinco ratones depende de la especie de *Quercus* (día 1: $\chi^2=27,10$; $gl=4$; $p<0,001$; día 2: $\chi^2=43,23$; $gl=4$; $p<0,001$; día 3: $\chi^2=54,07$; $gl=4$; $p<0,001$). Estos resultados indican que tanto para los tres días que dura el experimento considerados en conjunto, como si se consideran de forma individual, *Mus spretus* muestra preferencia por bellotas de algunas especies de *Quercus* más que por otras. En concreto, una vez eliminadas *Q. frainetto*, *Q. coccifera* y *Q. suber*, el ratón moruno muestra mayor predilección por bellotas de *Q. ilex* (90%), seguidas de las de *Q. faginea* (66,7%) y *Q. pirenaica* (60%), y en menor medida de *Q. petraea* (50%) y *Q. robur* (30%). La misma tendencia se observa si se calculan los porcentajes de bellotas atacadas de cada especie respecto del total de bellotas atacadas para el conjunto de especies (Tabla 5).

Tabla 4. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* consumidas por *Mus spretus* en los tres días del experimento.

<i>Quercus</i> spp.	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
<i>Q. ilex</i>	80,0	90,0	100,0	90,0
<i>Q. faginea</i>	80,0	70,0	50,0	66,7
<i>Q. pyrenaica</i>	70,0	60,0	50,0	60,0
<i>Q. petraea</i>	40,0	70,0	40,0	50,0
<i>Q. robur</i>	40,0	20,0	30,0	30,0
Promedio	62,0	62,0	54,0	59,3

Tabla 5. Número y porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* consumidas por *Mus spretus* respecto del total de bellotas atacadas, por en conjunto de los cinco ratones en los tres días que duró el experimento.

Especie	<i>Quercus</i> spp.	Nº bellotas	%
Encina	<i>Q. ilex</i>	27	30,34
Quejigo	<i>Q. faginea</i>	20	22,47
Rebollo	<i>Q. pyrenaica</i>	18	20,23
Albar	<i>Q. petraea</i>	15	16,85
Carballo	<i>Q. robur</i>	9	10,11
Total		89	100%

Al comparar el porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* comidas por el conjunto de los cinco ratones en cada uno de los tres días que duró el experimento (Tabla 4) se ha encontrado relación estadísticamente significativa entre ambas variables ($\chi^2=27,37$; $gl=8$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). Esto indica que existe relación entre el porcentaje de bellotas atacadas de cada especie de *Quercus* y el día en que se realizó el experimento, por lo que los ratones comen porcentajes distintos de bellotas de cada especie de *Quercus* según el día del experimento.

Al igual que en el experimento anterior, si se analizan los datos para todo el conjunto de bellotas comidas por los cinco ratones sin diferenciar especies de *Quercus*, se comprueba que

existe una independencia frente al día en que se realizó de experimento. Es decir, a pesar de quitar 3 especies de *Quercus*, el porcentaje total comido de bellotas es semejante los tres días en que duró el experimento (Tabla 4; día 1: 62,0%, día 2: 62,0% y día 3: 54,0%; $\chi^2=0,72$; gl=2; $p=0,698$; test de la Chi-cuadrado). En total, los cinco roedores han atacado el 59,3% de las bellotas ofrecidas.

El porcentaje medio de bellotas (sin diferenciar las especies de *Quercus*) comidas por cada uno de los *Mus spretus* para el conjunto de los tres días que dura el experimento (Tabla 6) oscila entre 36,7% (ratón nº 1) y 86,7% (ratón nº 3), y dichos porcentajes difieren significativamente ($\chi^2=27,51$; gl=4; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). Es decir, el porcentaje de bellotas comidas para el conjunto de los tres días depende del ratón. Además, se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón y el día del experimento ($\chi^2=48,23$; gl=8; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado), por lo que algunos ratones no comen proporciones parecidas de bellotas los tres días (es el caso de los ratones 1 y 2, ver Tabla 6).

Durante el transcurso del experimento 2, el consumo medio diario de bellotas (en gramos) por ratón fue de 4,82 g, y no existen diferencias estadísticamente significativas entre los 5 ratones muestra (Figura 4; ANOVA: $F_{[4,10]}=1,64$; $p=0,2393$), pero se sigue observando que los *Mus spretus* números 1 y 5 son los que menos gramos de bellotas ingieren al día. Sigue existiendo una tendencia a consumir mayor cantidad de bellotas a medida que pasan los días en los que transcurre el experimento. Dicha tendencia en el consumo de bellotas por parte de los ratones es estadísticamente significativa (Figura 5; ANOVA: $F_{[2,12]}=5,55$; $p=0,0197$). Esto quiere decir, que por lo general los ratones tienden a consumir mayor cantidad de bellotas el tercer día (6,71 g) que el primero (3,52 g).

Tabla 6. Porcentaje de bellotas consumidas por cada individuo de *Mus spretus* en los tres días del experimento.

Número de ratón	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
1	10,0	60,0	40,0	36,7
2	80,0	60,0	40,0	60,0
3	90,0	80,0	90,0	86,7
4	80,0	70,0	60,0	70,0
5	50,0	40,0	40,0	43,3
Promedio	62,0	62,0	54,0	59,3

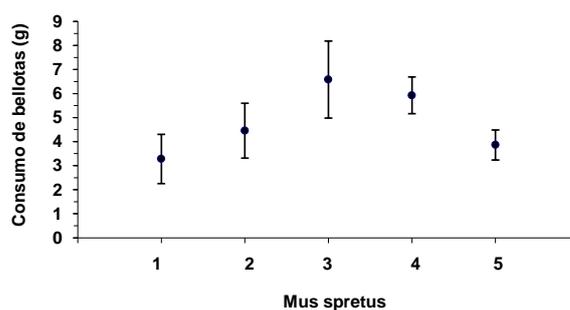


Figura 4. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por ratón en los tres días que duró el experimento 2 (n= 3 días).

A pesar de haber eliminado las especies que más diferencias presentaban con las demás, el consumo medio diario de cada ratón sigue siendo estadísticamente muy significativo entre las 5 especies de *Quercus* utilizadas en el experimento 2 (Figura 6; Kruskal-Wallis test:

$H_{[4,75]} = 34,26$; $p < 0,001$), siendo ahora *Q. ilex* la especie que significativamente es mucho más consumida (2,69 g por ratón y día; el 59,33% de la biomasa total de bellotas ingerida), seguida por *Q. pyrenaica* (consumo medio de 0,99 g por ratón y día; el 20,54% de la biomasa total de bellotas ingerida), quedando las otras 3 especies con consumos residuales, constituyendo entre todas menos del 25% de la biomasa total consumida.

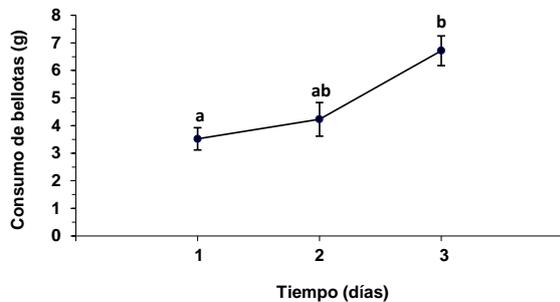


Figura 5. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por día (n= 5 ratones) en el experimento 2. Diferente letras en la figura indican diferencias estadísticamente significativas entre días ($p < 0,05$).

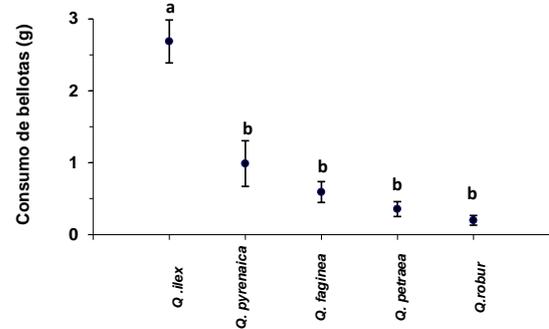


Figura 6. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas de cada especie de *Quercus* por ratón y día (n=15). Diferentes letras en la figura indican diferencias estadísticamente significativas entre especies ($p < 0,01$).

Experimento 3: Preferencia de *Mus spretus* por bellotas previamente mordidas por el mismo individuo frente a bellotas intactas.

El porcentaje total de bellotas mordidas por el conjunto de cinco ratones es independiente del día (Tabla 7; día 1: 35% y día 2: 41,25%; $\chi^2 = 0,5123$; $gl = 1$; $p = 0,474$; test de la Chi-cuadrado), aunque parece que el porcentaje de bellotas comidas es mayor el segundo día. En total, los cinco *Mus spretus* han mordisqueado el 38,1% de las bellotas disponibles, independientemente de la especie y de si la bellota estaba intactas o previamente había sido empezada por el propio *Mus*.

El porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón durante los dos días que duró el experimento (Tabla 7) oscila entre 28,1% (ratones nº 1 y nº 2) y 53,1% (ratón nº 3), y dichos porcentajes difieren significativamente ($\chi^2 = 16,08$; $gl = 4$; $p = 0,003$; test de la Chi-cuadrado). No obstante, no se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón y el día del experimento ($\chi^2 = 6,24$; $gl = 4$; $p < 0,182$; test de la Chi-cuadrado), lo que significa que cada *Mus spretus* ataca a la misma proporción de bellotas en los dos días del experimento.

Además, el porcentaje de bellotas mordidas por el conjunto de cinco roedores durante los dos días que duró el experimento depende de la especie de *Quercus* (Tabla 8; $\chi^2 = 12,81$; $gl = 1$; $p < 0,001$; test de la Chi-cuadrado). En concreto, *Mus spretus* prefiere bellotas de *Q. ilex* (el 53,75% de las bellotas mordidas pertenecen a esta especie), que de *Q. pyrenaica* (22,5%). Sin embargo, el porcentaje de bellotas mordidas por el conjunto de cinco ratones durante los dos días que duró el experimento no depende del tipo de bellota (Tabla 8; $\chi^2 = 1,004$; $gl = 1$; $p = 0,32$; test de la Chi-cuadrado). Es decir, *Mus spretus* no prefiere bellotas previamente comidas (el

42,5% de las bellotas atacadas habían sido previamente mordidas por cada ratón) frente a bellotas intactas (33,75%) ni viceversa.

Tabla 7. Porcentaje de bellotas (sin diferenciar especies de *Quercus*) atacadas por cada individuo de *Mus spretus* en los dos días del experimento

Número de ratón	Día 1	Día 2	Promedio
1	25,00	31,25	28,10
2	25,00	31,25	28,10
3	43,75	62,50	53,10
4	43,75	56,25	50,00
5	37,50	25,00	31,30
Promedio	35,00	41,25	38,10

Tabla 8. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* y de cada tipo atacadas por *Mus spretus* en los dos días del experimento.

Especie	intactas	comidas	Promedio
<i>Q. ilex</i>	47,50	60,00	53,75
<i>Q. pyrenaica</i>	20,00	25,00	22,50
Promedio	33,75	42,50	38,10

Al comparar el porcentaje de bellotas de cada tipo (intactas y previamente comidas) atacadas para cada especie de *Quercus* (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*) por el conjunto de los cinco ratones en los dos días que duró el experimento 3 (Tabla 8) no se ha encontrado relación estadísticamente significativa entre ambas variables ($\chi^2=0,022$; $gl=1$; $p=0,88$; test de la Chi-cuadrado). Esto significa que para ninguna de las dos especies de *Quercus* existe preferencia por parte de *Mus spretus* por bellotas intactas o previamente comidas por cada ratón.

Durante el experimento 3, el consumo medio diario de bellotas (en gramos) por ratón fue de 5,42 g, superior al registrado durante el experimento 1 (1,28 g más; 31% más) y durante el experimento 2 (0,60 g más; 12% más). Sin embargo, el consumo medio de bellotas no difiere entre ratones (Figura 7; Kruskal-Wallis: $H_{[4,10]}=5,02$; $p=0,285$), como tampoco sucedía en los experimentos 1 y 2, aunque los ratones 1 y 2 son en este caso los que menos gramos de bellotas ingirieron al día. Tampoco se observan diferencias, estadísticamente significativas, en el consumo de bellotas por parte de los ratones entre los dos días que duró el experimento 3 (Figura 8; ANOVA: $F_{[1,8]}=1,70$; $p=0,23$), a pesar de que los ratones ingieren ligeramente más cantidad de bellotas el segundo día (5,79 g) que el primero (5,05 g).

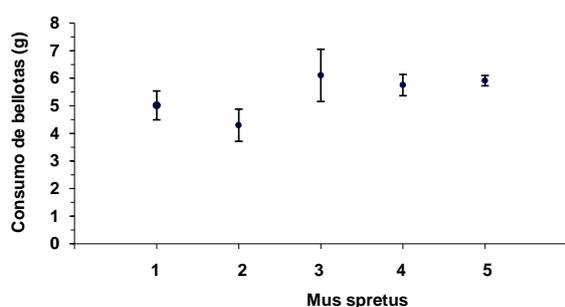


Figura 7. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas por ratón en los dos días que duró el experimento 3 (n= 2 días)

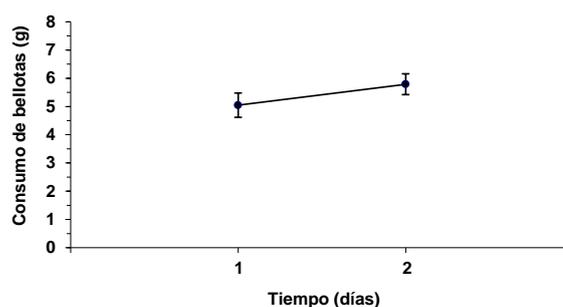


Figura 8. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por día (n= 5 ratones) en el experimento 3

Lo que sí se observa es que el consumo medio (en gramos) diario y por ratón de bellotas de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica* difiere significativamente (Figura 9; Student-t test: $t_{[1,18]}=5,396$, $p<0,001$), siendo significativamente mayor el consumo de bellotas de *Q. ilex* (consumo medio de 4,13 g por ratón y día; el 76,20% de la biomasa total de bellotas ingerida) que de *Q. pyrenaica* (consumo medio de 1,28 g por ratón y día; el 23,80% de la biomasa total de bellotas ingerida).

En cuanto a la preferencia por bellotas intactas o previamente comidas por cada ratón, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas (Figura 10; Student-t test: $t_{[1,18]}=2,92$; $p<0,01$), siendo mayor la preferencia por bellotas previamente comidas por cada ratón (consumo medio de 3,60 g por ratón y día) que si eran intactas (consumo medio de 1,81 g por ratón y día). Sin embargo, si se analizan los datos para cada especie de *Quercus* por separado (*Q. ilex*: Student-t test; $t_{[1,18]}=2,04$; $p=0,057$; *Q. pyrenaica*: Mann-Whitney U test; $U_{[1,18]}=33,5$; $p=0,197$) no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad (g) comidas de bellotas intactas o previamente consumidas por cada ratón (Figura 11), aunque en ambas especies es mayor el consumo de bellotas previamente comidas que de intactas. Únicamente en el caso de la encina las diferencias son probablemente significativas ($p<0,1$).

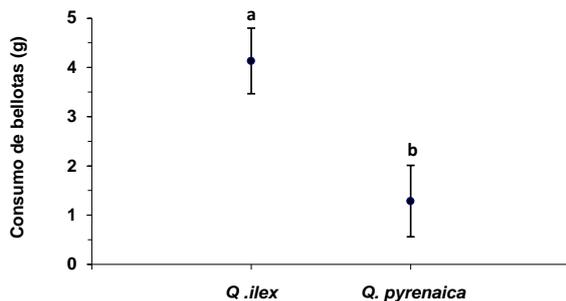


Figura 9. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas de cada especie de *Quercus* por ratón y día (n=10) en el experimento 3. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,01$).

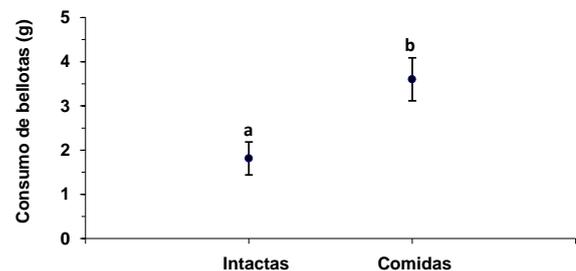


Figura 10. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas intactas y previamente comidas por ratón y día (n= 10) en el experimento 3. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,01$).

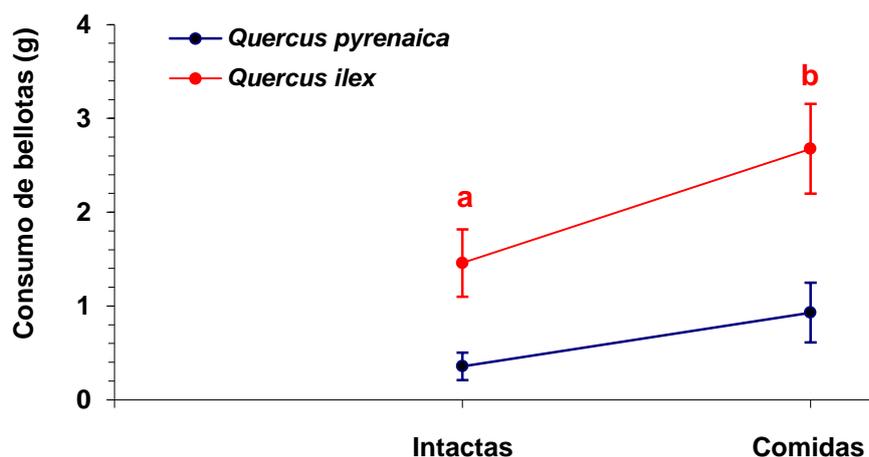


Figura 11. Valor medio y error estándar del consumo medio diario de bellotas intactas y previamente comidas de *Q. ilex* (rojo) y *Q. pyrenaica* (azul), respectivamente (n=10). Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas entre tipos de bellotas dentro de cada especie ($p < 0,1$).

Experimento 4: Preferencia de *Mus spretus* por bellotas previamente mordidas por otro individuo frente a bellotas intactas.

El porcentaje total de bellotas mordidas por el conjunto de cinco ratones sigue siendo independiente del día (Tabla 9; día 1: 47,5% y día 2: 58,8%; $\chi^2=1,19$; gl=1; $p=0,275$; test de la Chi-cuadrado), aunque el segundo día se ataca un mayor porcentaje de bellotas. En conjunto los ratones han mordisqueado el 53,1% de las bellotas disponibles, independientemente de la especie y de si eran bellotas intactas o habían sido previamente atacadas por otro ratón.

El porcentaje de bellotas atacadas por cada *Mus spretus* durante los dos días que duró el experimento (Tabla 9) oscila entre 40,6% (ratón nº 1) y 68,8% (ratón nº 4), y dichos porcentajes son significativamente diferentes ($\chi^2=9,95$; gl=4; $p=0,041$; test de la Chi-cuadrado). Además, se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón y el día del experimento ($\chi^2=12,57$; gl=4; $p=0,014$; test de la Chi-cuadrado), lo que significa que no todos los ratones atacan a la misma proporción de bellotas en los dos días del experimento.

También se observa que el porcentaje de bellotas mordidas por el conjunto de cinco roedores durante los dos días que duró el experimento no depende de la especie de *Quercus* (Tabla 10; $\chi^2=0,132$; gl=1; $p=0,72$; test de la Chi-cuadrado). Es decir, al contrario de lo que ocurrió en el experimento 3, ahora no se detecta una preferencia de *Mus spretus* por las bellotas de *Q. ilex* (55,0%) frente a las de *Q. pyrenaica* (51,3%). Sin embargo, al contrario que en el experimento 3, el porcentaje de bellotas mordidas por el conjunto de cinco ratones durante los dos días que duró el experimento si depende del tipo de bellota (Tabla 10; $\chi^2=4,25$; gl=1; $p=0,039$; test de la Chi-cuadrado). Es decir, *Mus spretus* prefiere bellotas previamente comidas por otros ratones (el 63,8% de las bellotas mordidas habían sido previamente mordidas por otro ratón) frente a bellotas intactas (42,5%).

Tabla 9. Porcentaje de bellotas (sin diferenciar especies de *Quercus*) atacadas por cada individuo de *Mus spretus* en los dos días del experimento.

Número de ratón	Día 1	Día 2	Promedio
1	37,5	43,8	40,6
2	25,0	62,5	43,8
3	62,5	56,3	59,4
4	62,5	75,0	68,8
5	50,0	56,3	53,1
Promedio	47,5	58,8	53,1

Tabla 10. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* y de cada tipo atacadas por los cinco *Mus spretus* en los dos días del experimento.

Especie	intactas	comidas por otros	Promedio
<i>Q. ilex</i>	35,0	75,0	55,0
<i>Q. pyrenaica</i>	50,0	52,5	51,3
Promedio	42,5	63,8	53,1

Al comparar el porcentaje de bellotas de cada tipo (intactas y previamente comidas por otro roedor) atacadas para cada especie de *Quercus* (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*) por el conjunto de los cinco ratones en los dos días que duró el experimento 3 (Tabla 10) se ha encontrado relación estadísticamente significativa entre ambas variables ($\chi^2=5,67$; gl=1; p=0,017; test de la Chi-cuadrado), al contrario de lo encontrado en el experimento 3. Esto significa que dependiendo de la especie de bellotas de que se trate, existe o no preferencia por parte de *Mus spretus* por bellotas de un tipo u otro. En concreto, para las bellotas de *Quercus ilex* existe preferencia por parte de *Mus spretus* por bellotas comidas previamente por otro ratón diferente frente a las intactas.

En los dos días que duro el experimento 4, el consumo medio diario de bellotas (en gramos) por ratón fue de 4,67 g, ligeramente inferior al registrado durante el experimento 3 (0,75 g menos; 16% menos). Pero igual que en el experimento 3, el consumo medio de bellotas no difiere entre ratones (Figura 12; Kruskal-Wallis: $H_{[4,10]}=5,67$; p=0,225), ni tampoco se observan diferencias, estadísticamente significativas, en el consumo de bellotas por parte de los ratones entre los dos días que duró el experimento 3 (Figura 13; ANOVA: $F_{[1,8]}=1,29$; p=0,289).

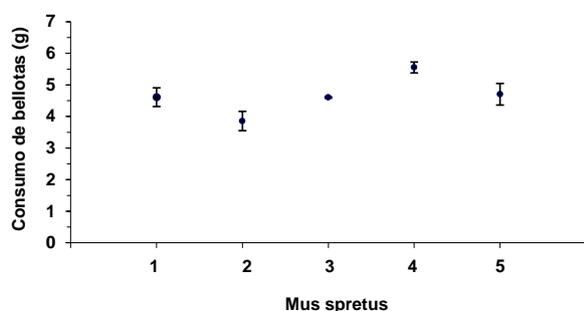


Figura 12. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por ratón en los dos días que duró el experimento 4 (n= 2 días).

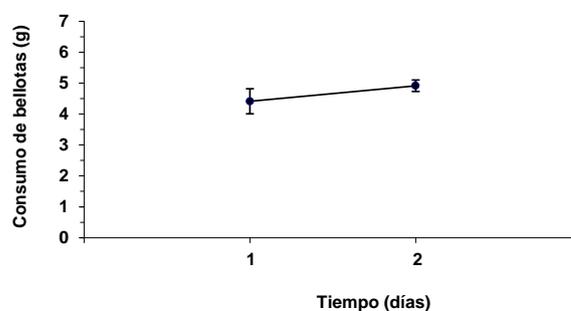


Figura 13. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por día (n= 5 ratones) en el experimento 4.

Al contrario que en el experimento 3, no se observa diferencia estadísticamente significativa en el consumo medio (en gramos) diario y por ratón de bellotas de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica* (Figura 14; Student-t test: $t_{[1,18]}=1,48$; $p=0,155$), aunque es mayor el consumo de bellotas de *Q. ilex* (consumo medio de 2,69 g por ratón y día; el 57,58% de la biomasa total de bellotas ingerida) que de *Q. pyrenaica* (consumo medio de 1,98 g por ratón y día; el 42,42% de la biomasa total de bellotas ingerida).

En cuanto a la preferencia por el tipo de bellotas expuestas, intactas o previamente comidas por otro ratón diferente, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas (Figura 15; Student-t test: $t_{[1,18]} = 3,09$; $p=0,006$), siendo mayor la preferencia por bellotas previamente comidas por otro ratón (consumo medio de 2,92g por ratón y día) que si eran intactas (consumo medio de 1,74g por ratón y día).

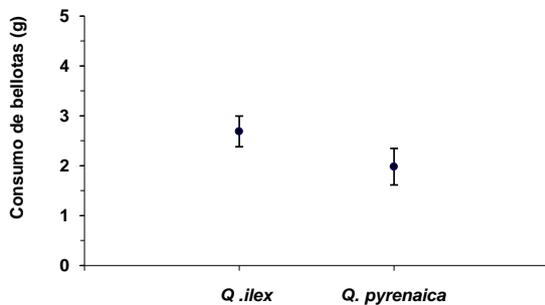


Figura 14. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas de cada especie de *Quercus* por ratón y día (n=10) en el experimento 4.

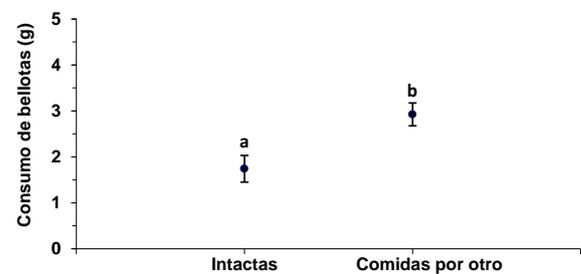


Figura 15. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas intactas y previamente comidas por otro ratón y día (n= 10) en el experimento 4. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,01$).

Sin embargo, si se analizan los datos para cada especie de *Quercus* por separado (*Q. ilex*: Student-t test: $t_{[1,18]}= 2,29$; $p= 0,034$; *Q. pyrenaica*: Mann-Whitney U test: $U_{[1,18]}=46$; $p=0,762$) sólo en el caso de la encina se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad (g) de bellotas intactas o previamente atacadas por otro ratón (Figura 16), aunque en ambas especies es mayor el consumo de bellotas previamente comidas que de intactas.

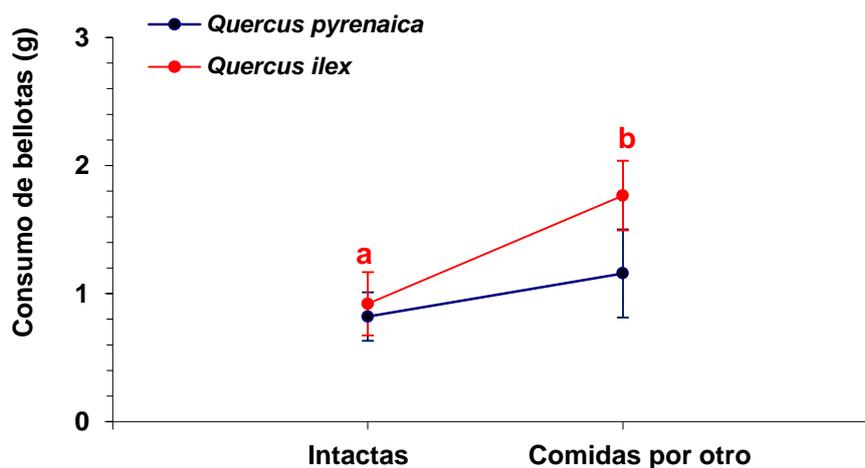


Figura 16. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas intactas y previamente comidas por otro ratón de *Q. ilex* (rojo) y *Q. pyrenaica* (azul), respectivamente (n=10). Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas entre tipos de bellotas dentro de cada especie ($p < 0,1$).

Experimento 5: Preferencia de *Mus spretus* por bellotas previamente mordidas por él frente a bellotas previamente atacadas por otro individuo.

Al igual que en los anteriores experimentos, el porcentaje total de bellotas atacadas por el conjunto de los cinco roedores es independiente del día (Tabla 11; día 1: 65% y día 2: 56,3%; $\chi^2=0,63$; gl=1; $p=0,427$; test de la Chi-cuadrado), pero en este caso es el primer día en el que se ataca un mayor porcentaje de bellotas. Los cinco *Mus spretus* en conjunto han atacado el 60,6% del total de bellotas expuestas, independientemente de la especie y de si habían sido atacadas por el mismo ratón moruno o por un individuo diferente.

Durante los dos días que dura el experimento, el porcentaje de bellotas atacadas por los ratones morunos oscila entre 50% (ratón nº 5) y 78,1% (ratón nº 3) como se puede ver en la tabla 11. Estos porcentajes no difieren significativamente entre sí ($\chi^2=7,57$; gl=4; $p=0,108$; test de la Chi-cuadrado), y tampoco se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón y el día del experimento ($\chi^2=10,20$; gl=4; $p=0,037$; test de la Chi-cuadrado), lo que significa que todos los ratones atacan a una cantidad similar de bellotas durante los dos días del experimento.

Analizando los datos se observa que al igual que en el experimento 4, el porcentaje de bellotas atacadas por el conjunto de cinco roedores durante los dos días que duró el experimento no depende de la especie de *Quercus* (Tabla 12; $\chi^2=2,90$; gl=1; $p=0,0886$; test de la Chi-cuadrado). No existe una preferencia clara de *Mus spretus* por las bellotas de *Q. ilex* (70,0%) frente a las de *Q. pyrenaica* (51,3%). En cambio, sí que se observa una ligera diferencia significativa entre los tipos de bellotas expuestas al conjunto de los cinco ratones (Tabla 12; $\chi^2=4,65$; gl=1; $p < 0,05$ test de la Chi-cuadrado). El ratón moruno muestra una ligera preferencia por bellotas previamente atacadas por ratones diferentes (72,5%) frente a las bellotas que habían sido previamente comidas por ellos mismos (48,75%).

Tabla 11. Porcentaje de bellotas (sin diferenciar especies de *Quercus*) atacadas por cada individuo de *Mus spretus* en los dos días del experimento 5.

Número de ratón	Día 1	Día 2	Promedio
1	56,25	56,25	56,3
2	56,25	68,75	62,5
3	81,25	75,00	78,1
4	68,75	43,75	56,3
5	62,50	37,50	50,0
Promedio	65,00	56,25	60,60

Tabla 12. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* y de cada tipo atacadas por *Mus spretus* en los dos días del experimento 5.

Especie	Comidas	Comidas por otros	Promedio
<i>Q. ilex</i>	62,50	77,50	70,00
<i>Q. pyrenaica</i>	35,00	67,50	51,25
Promedio	48,75	72,50	60,60

Tampoco se encuentra relación estadísticamente significativa ($\chi^2=2,293$; $gl=1$; $p=0,13$; test de la Chi-cuadrado) al comparar el porcentaje de bellotas de cada tipo atacadas para cada especie de *Quercus* (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*) por el conjunto de los cinco ratones en los dos días que duró el experimento 5. Esto significa que para ninguna de las dos especies de *Quercus* existe preferencia por parte de *Mus spretus* por bellotas previamente atacadas por ellos mismos o por roedores diferentes.

En cuanto al consumo medio diario de bellotas en el experimento 5, la media en gramos por ratón fue de 5,88 g, lo que le supone ser el experimento en el que el consumo medio fue mayor (aunque no difiere mucho del experimento 3). Como sucedía en los otros experimentos, el consumo medio no difiere entre los 5 ratones (Figura 17; Kruskal-Wallis: $H_{[4,10]}=4,69$; $p=0,321$), como tampoco se observan diferencias significativas en el consumo de bellotas por parte de los ratones entre los dos días que duró el experimento 5 (Figura 18; ANOVA: $F_{[1,8]}=0,123$; $p=0,74$), aunque si se nota por primera vez un menor consumo el segundo día de experimento que el primero.

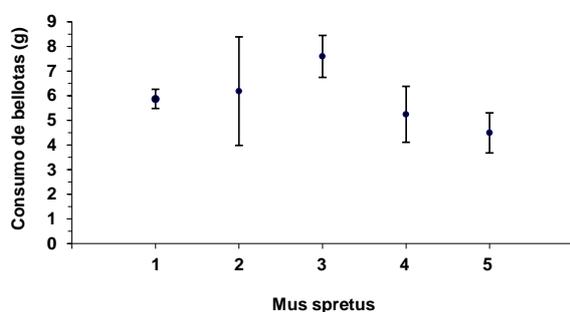


Figura 17. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por ratón en los dos días que duró el experimento 5 (n= 2 días).

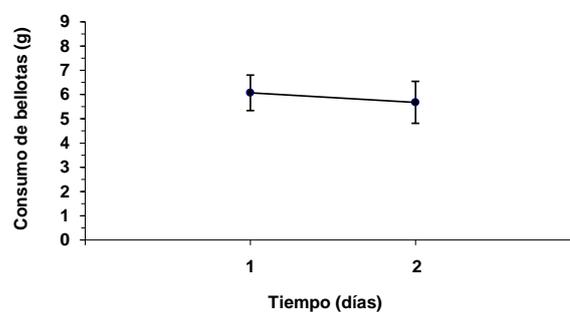


Figura 18. Valor medio y error estándar del consumo de bellotas por día (n= 5 ratones) en el experimento 5.

Se encuentran diferencias probablemente significativas en cuanto al consumo medio (en gramos) diario por ratón entre especies de bellotas expuestas (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*) (Figura 19; Student-t test: $t_{[1,18]}=2,036$; $p=0,057$), siendo mayor el consumo de *Q. ilex* (consumo medio

de 3,43 g por ratón y día; el 58,3% de la biomasa total de bellotas ingerida) que de *Q. pyrenaica* (consumo medio de 2,45 g por ratón y día; el 41,7% de la biomasa total de bellotas ingerida).

Observando la preferencia por el tipo de bellotas expuestas, previamente comidas por ellos mismos frente a bellotas atacadas por otro ratón diferente, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas (Figura 20; Student-t test: $t_{[1,18]}=2,5914$; $p=0,018$), siendo mayor la preferencia por bellotas previamente comidas por otros ratones (consumo medio de 3,55 g por ratón y día) que por las bellotas que el propio *Mus spretus* había mordisqueado previamente (consumo medio de 2,33 g por ratón y día).

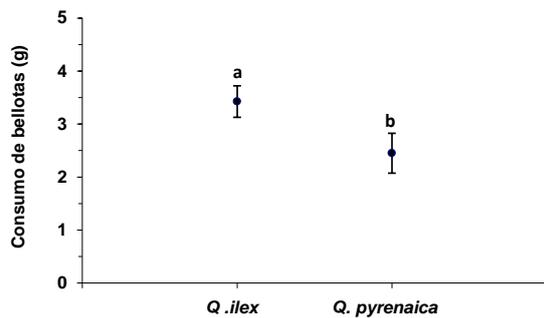


Figura 19. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas de cada especie de *Quercus* por ratón y día ($n=10$) en el experimento 5. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,1$).

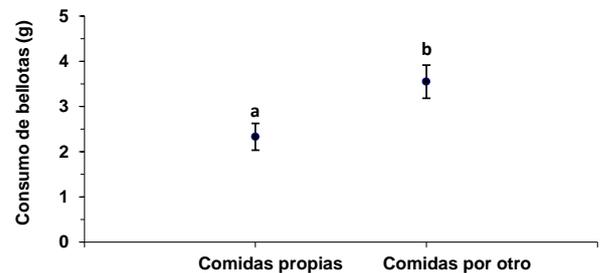


Figura 20. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas comidas por el propio *Mus spretus* y previamente comidas por otro ratón y día ($n= 10$) en el experimento 5. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$).

Si se analizan por separado los datos para las dos especies de bellotas de *Quercus* expuestas (*Q. ilex*: Mann-Whitney U test: $U_{[1,18]}=32$; $p=0,174$; *Q. pyrenaica*: Mann-Whitney U test: $U_{[1,18]}=34$; $p=0,226$), se observa que para ninguna de las dos especies existen diferencias estadísticamente significativas entre el consumo medio diario (g) de bellotas comidas por el propio *Mus spretus* o por bellotas atacadas por ratones diferentes (Figura 21), aunque para ambas especies, se consume mayor cantidad por las bellotas que previamente habían atacado ratones diferentes.

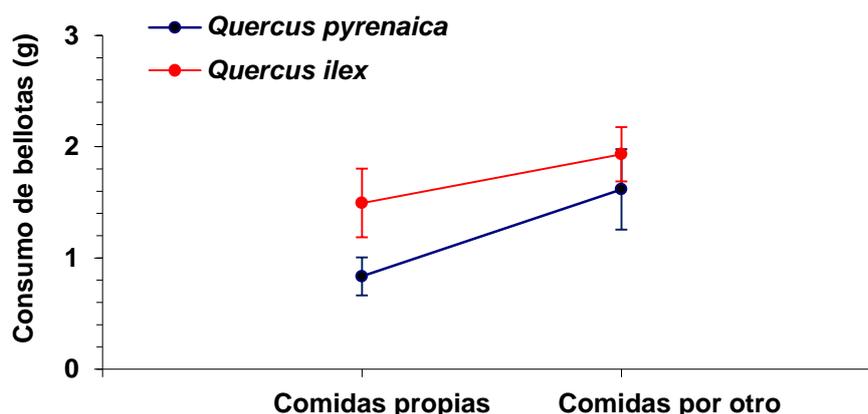


Figura 21. Valor medio y error estándar del consumo medio de bellotas comidas por el propio *Mus spretus* y previamente comidas por otro ratón de *Q. ilex* (rojo) y *Q. pyrenaica* (azul), respectivamente (n=10).

Experimento 6: Patrón de consumo de bellotas de *Quercus ilex* y *Q. pyrenaica* por parte de *Mus spretus*

Para el conjunto de los seis días que dura el experimento nº 6, el porcentaje de bellotas de las dos especies de *Quercus*, atacadas por las tres diferentes zonas de consumo por el conjunto de los cinco ratones morunos, difiere significativamente (Tabla 13; $\chi^2=41,67$; gl=2; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). En concreto, el 48,3 % del total de bellotas utilizadas en este experimento, sin diferenciar especie de *Quercus*, fueron consumidas, por el conjunto de los cinco ratones, por la parte basal, el lugar más alejado de la posición del embrión. El 12,3 % de todas las bellotas proporcionadas fueron consumidas por los dos extremos, y tan solo el 6,3 % de las bellotas fueron consumidas por la parte distal donde se inserta el embrión. El 33% de las bellotas proporcionadas a los ratones permanecieron intactas.

Tabla 13. Porcentaje de bellotas (sin diferenciar especies de *Quercus*) consumidas por la parte basal, distal o por ambas a la vez, por el conjunto de *Mus spretus* en cada uno de los seis días que duró el experimento.

Zona consumo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Media
Basal	40,0	50,0	40,0	50,0	61,0	49,0	48,3
Distal	9,0	10,0	12,0	1,0	3,0	3,0	6,3
Ambos	19,0	17,0	10,0	14,0	7,0	7,0	12,3
Total	68,0	77,0	62,0	65,0	71,0	59,0	67,0

Tabla 14. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* y de cada tipo atacadas por *Mus spretus* en los seis días que duro el experimento 6.

Especie	Basal	Distal	Ambos
<i>Q. ilex</i>	53,0	4,0	3,0
<i>Q.pyrenaica</i>	42,0	10,0	23,0

También se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas consumidas por las diferentes zonas y el día del experimento (Tabla 13; $\chi^2=26,61$; $gl=10$; $p=0,0123$; test de la Chi-cuadrado), lo que significa que los ratones no comen todos los días la misma cantidad de bellotas por cada zona de consumo. En conjunto los cinco ratones han atacado el 67% de las bellotas disponibles.

Si se analizan los datos diferenciando entre las dos especies de *Quercus*, se observa que el porcentaje de bellotas atacadas por las diferentes zonas de consumo por el conjunto de 5 ratones depende de la especie de *Quercus* (Tabla 14; $\chi^2=17,78$; $gl=2$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). Para las dos especies, los porcentajes más altos de consumo se corresponde con la parte basal de la bellota, en *Q. ilex* un 53% de las bellotas son comidas por esta zona y en *Q. pyrenaica* el 42%. Además, el ratón moruno, muestra un consumo significativamente menor de bellotas por la zona distal en ambas especies (un 4% en *Q. ilex* y un 10% en *Q. pyrenaica*). Sin embargo, el consumo por ambas zonas es bajo para *Q. ilex* (3%), mientras que para *Q. pyrenaica* (23%) es superior al porcentaje de bellotas comidas por la parte distal.

El porcentaje de bellotas comidas por las diferentes zonas, sin diferenciar especies de *Quercus*, para el conjunto de los seis días que duró el experimento depende significativamente de cada individuo de *Mus spretus* (Tabla 15; $\chi^2=210,91$; $gl=8$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). Es decir, no todos los ratones muestran la misma preferencia por la parte basal de las bellotas. Así, el ratón nº 1 tan sólo come por la parte basal el 3% de las bellotas expuestas, y el ratón nº 5 el 19%, mientras que los ratones nº 2, 3 y 4 presentan porcentajes de consumo de bellotas por la parte basal superiores al 50%. Además, en los ratones nº 1 y 5 el porcentaje de bellotas consumidas por la parte basal es inferior, tanto al porcentaje de bellotas consumidas por ambas partes, como al porcentaje de bellotas consumidas por la parte distal (Tabla 15).

Tabla 15. Porcentaje de bellotas (sin diferenciar especies de *Quercus*) consumidas por la parte basal, distal o ambas a la vez, por cada individuo de *Mus spretus* en los seis días del experimento 6.

Número de ratón	Basal	Distal	Ambos
1	3,0	23,0	5,0
2	56,0	9,0	19,0
3	81,0	0,0	4,0
4	78,0	1,0	12,0
5	19,0	3,0	26,0

Tabla 16. Porcentaje de bellotas comidas por la parte distal+ambas de cada especie de *Quercus* que conservan o no el embrión después de ser atacadas por el conjunto de los cinco ratones

Especie	Conservan	No conservan
<i>Q. ilex</i>	39,0	61,0
<i>Q. pyrenaica</i>	37,0	63,0
Promedio	38,0	62,0

Si se analizan con detalle los resultados de las bellotas comidas por la parte distal (comidas sólo la parte distal o por ambas partes), por el conjunto de cinco ratones durante los seis días que duró el experimento, se observa que el 39 y 37%, respectivamente, de las

bellotas de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica* consumidas mantienen el embrión intacto (Tabla 16). Dichos valores no se consideran diferentes estadísticamente (Tabla 16; $\chi^2=0,021$; gl=1; p=0,88; test de la Chi-cuadrado). Esto significa que para ambas especies de *Quercus* el porcentaje de bellotas cuyo embrión no se ve afectado por el consumo por parte de *Mus spretus* es similar. No obstante, teniendo en cuenta que el porcentaje de bellotas de *Q. pyrenaica* consumidas por la parte distal (comidas sólo la parte distal o por ambas partes) es mayor que en el caso de *Q. ilex* (ver tabla 14), también será mayor el porcentaje de bellotas de *Q. pyrenaica* cuyo embrión puede verse afectado por el consumo de *Mus spretus* (Tablas 17 y 18).

De hecho, teniendo en cuenta que las bellotas que conservan el embrión serán tanto las que permanezcan intactas tras ser proporcionadas a los ratones, como las consumidas por la parte basal y el 37 ó 39%, para *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*, respectivamente, de las bellotas consumidas por la parte distal (comidas sólo la parte distal o por ambas partes), el porcentaje de bellotas que conservan el embrión tras la dispersión y depredación de *Mus spretus* es alto para ambas especies. No obstante, depende de la especie de *Quercus* (Tabla 17; $\chi^2=9,95$; gl=1; p<0,001; test de la Chi-cuadrado y Tabla 18; $\chi^2=12,23$; gl=1; p<0,001; test de la Chi-cuadrado). Esto significa que es mayor el porcentaje de bellotas que no conservan el embrión en el caso de *Q. pyrenaica* en comparación con *Q. ilex*.

Tabla 17. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* que conservan o no el embrión respecto al total de bellotas proporcionadas a *Mus spretus*.

Especie	Conservan	No conservan
<i>Q. ilex</i>	95,0	5,0
<i>Q.pyrenaica</i>	79,0	21,0

Tabla 18. Porcentaje de bellotas de cada especie de *Quercus* que conservan o no el embrión respecto al total de bellotas consumidas por *Mus spretus*.

Especie	Conservan	No conservan
<i>Q. ilex</i>	92,0	8,0
<i>Q.pyrenaica</i>	72,0	28,0

Experimento 7A: Preferencia de *Mus spretus* por el lugar de consumo en bellotas de *Quercus ilex* cortadas a la mitad

El porcentaje de mitades de las dos zonas de consumo perteneciente a las bellotas de *Quercus ilex* atacadas por cada ratón durante los tres días que duró el experimento (Tabla 19) es el mismo en los ratones nº 2, nº 3 y nº 4 (48,3 %) y parecido entre los ratones nº 1 y nº 5 (30% y 31,7%, respectivamente), por lo que dichos porcentajes no difieren significativamente ($\chi^2=8,88$; gl=4; p=0,064; test de la Chi-cuadrado). En total, los cinco *Mus spretus* han mordisqueado el 41,3% de las bellotas de *Quercus ilex* disponibles, independientemente de la mitad de la bellota expuesta. En cambio, si se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón y la zona expuesta para el consumo (Tabla 19; $\chi^2=23,26$; gl=4; p<0,001; test de la Chi-cuadrado), lo que significa que no todos los individuos de *Mus*

spretus muestran el mismo patrón de consumo de las bellotas para el conjunto de los tres días que duró el experimento.

Si se analiza, para el conjunto de individuos de *Mus spretus*, el porcentaje de mitades de bellotas de *Quercus ilex* mordidas durante los tres días que duró el experimento, se observa una preferencia significativa por la parte basal frente a la distal (Tabla 20; $\chi^2=12,39$; $gl=1$; $p<0,001$; test de la Chi-cuadrado). En concreto, *Mus spretus* prefiere comer las bellotas de *Q. ilex* por la parte basal (el 57,3% de las mitades correspondientes a la parte basal), que por la parte distal donde se encuentra el embrión (25,3% de las mitades correspondientes a la parte distal). Ese mismo patrón también se observa analizando los datos de cada día por separado.

Si se analizan con detalle los resultados de las mitades distales comidas, por el conjunto de cinco ratones durante los tres días que duró el experimento, se observa que el 48,3% de dichas mitades han perdido el embrión, mientras que el 51,7% lo conservan intacto, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre dichos valores ($\chi^2=0,1156$; $gl=1$; $p=0,734$; test de la Chi-cuadrado).

Tabla 19. Porcentaje de bellotas de *Quercus ilex* consumidas por la parte basal o la parte distal por cada individuo de *Mus spretus* en los tres días del experimento 7A.

Número de ratón	Basal	Distal	Promedio
1	40,0	20,0	30,0
2	80,0	16,7	48,3
3	66,6	30,0	48,3
4	70,0	26,6	48,3
5	30,0	33,3	31,7
Promedio	57,3	25,3	41,3

Tabla 20. Porcentaje de bellotas de *Quercus ilex* de cada zona expuesta atacadas por *Mus spretus* en los tres días del experimento.

Zona de consume	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
Basal	62,0	62,00	48,0	57,3
Distal	26,0	30,0	20,0	25,3
Promedio	44,0	46,0	34,0	41,3

Analizando los datos en peso (g de bellotas comidas), no se observan diferencias, estadísticamente significativas, en el consumo de bellotas de *Quercus ilex* por parte de los ratones entre los tres días que duró el experimento 7A (ANOVA: $F_{[2,12]}=2,22$; $p=0,151$), aunque sí hay una tendencia creciente no significativa de consumo a medida que transcurre el tiempo del experimento (de 2,92 g el primer día, a 4 gramos el segundo y tercer día).

Lo que sí se observa es que el consumo medio (en gramos) diario, para el conjunto de los cinco ratones en los tres días que dura el experimento, difiere significativamente entre las dos zonas de consumo expuestas (Figura 22; Student-t test: $t_{[1,28]}=8,47$, $p<0,001$), siendo significativamente mayor el consumo de las mitades basales (consumo medio de 2,94 g por ratón y día; el 80,77% de la biomasa total de bellotas ingerida) que de las distales (consumo medio de 0,69 g por ratón y día; el 19,23% de la biomasa total de bellotas ingerida). Ese mismo patrón de consumo se observa analizando los datos para cada ratón individualmente (Figura

23). Cada ratón consume mucha mayor cantidad en gramos de las bellotas de la parte basal que de la parte distal (un 76% más; 2,94 g de media de la parte basal por 0,696 g de media de la parte distal). Los ratones 2, 3 y 4 consumen más de 3 gramos de la parte basal como media de los 3 días. En cambio, el consumo de la parte distal es inferior a 1 gramo en todos los ratones menos en el ratón número 3, que fue el que mayor consumo presentó de las mitades de bellotas de las dos zonas de consumo.

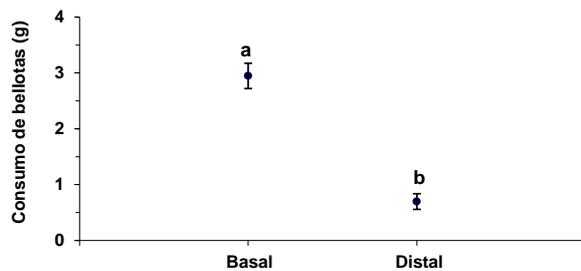


Figura 22. Valor medio y error estándar del consumo de las mitades de bellotas de *Q. ilex* expuestas según la zona de consumo (n=15). Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de consumo ($p < 0,01$).

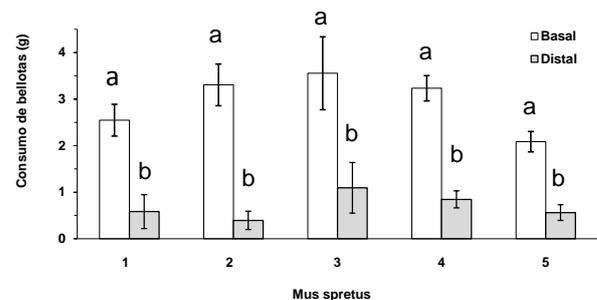


Figura 23. Valor medio y error estándar del consumo de mitades de bellotas de *Quercus ilex* consumidas por cada ratón en los tres días que duró el experimento 7A en función de la zona de consumo (n=3 días). Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de consumo ($p < 0,01$), para cada ratón mediante el test t de Student.

Experimento 7B: Preferencia de *Mus spretus* por el lugar de consumo en bellotas de *Quercus pyrenaica* cortadas a la mitad

En este experimento, el porcentaje de mitades de las dos zonas de consumo perteneciente a las bellotas de *Quercus pyrenaica* atacadas durante los tres días que duró el experimento sí que difiere estadísticamente entre ratones (Tabla 21; $\chi^2=19,48$; gl=4; $p < 0,001$; test de la Chi-cuadrado). Estos porcentajes oscilan entre 33,3% (ratón nº 2) y 70% (ratón nº 4). Es decir, el porcentaje de mitades de bellotas comidas para el conjunto de los tres días depende del ratón. En total, los cinco roedores han atacado el 53,3% de las mitades de bellotas ofrecidas, independientemente de la mitad de la bellota expuesta.

También se encuentra dependencia entre el porcentaje de bellotas atacadas por cada ratón y la zona expuesta para el consumo (Tabla 21; $\chi^2=17,63$; gl=4; $p < 0,001$; test de la Chi-cuadrado), lo que significa que no todos los individuos de *Mus spretus* muestran el mismo patrón de consumo de las bellotas para el conjunto de los tres días que duró el experimento (los ratones 1 y 5 comen más porcentaje de mitades de la parte distal que basal).

En cambio, al contrario que ocurría con *Quercus ilex*, el porcentaje de mitades bellotas de *Quercus pyrenaica* mordidas por el conjunto de cinco roedores durante los tres días que duró el experimento no depende de la zona de la bellota expuesta (Tabla 22; $\chi^2=0,60$; gl=1; $p=0,438$;

test de la Chi-cuadrado). No existe una preferencia clara de *Mus spretus* por las mitades de bellotas de la zona basal (57,3%) frente a las de la zona distal (49,3%).

Si se analizan con detalle los resultados de las mitades distales comidas, por el conjunto de cinco ratones durante los tres días que duró el experimento, se observa que el 40,1% de dichas mitades han perdido el embrión, mientras que el 59,9% lo conservan intacto, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre dichos valores ($\chi^2=2,32$; $gl=1$; $p=0,127$; test de la Chi-cuadrado), al igual que sucedía para *Q. ilex*.

Tabla 21. Porcentaje de bellotas de *Quercus pyrenaica* consumidas por la parte basal o la parte distal por cada individuo de *Mus spretus* en los tres días del experimento 7B.

Número de ratón	Basal	Distal	Promedio
1	36,6	46,6	41,6
2	50,0	16,6	33,3
3	76,6	60,0	68,3
4	73,3	66,6	70,0
5	50,0	56,6	53,3
Promedio	57,3	49,3	53,3

Tabla 22. Porcentaje de bellotas de *Quercus pyrenaica* de cada zona expuesta atacadas por *Mus spretus* en los tres días del experimento.

Zona de consumo	Día 1	Día 2	Día 3	Promedio
Basal	74,0	62,00	36,0	57,3
Distal	54,0	56,0	38,0	49,3
Promedio	64,0	59,0	37,0	53,3

Analizando los datos en peso (g de bellotas comidos), igual que ocurría para *Q. ilex*, tampoco para *Q. pyrenaica* se observan diferencias, estadísticamente significativas, en el consumo de bellotas de *Quercus ilex* por parte de los ratones entre los tres días que duró el experimento 7A (ANOVA: $F[2,12]=0,218$; $p=0,807$), y ni siquiera hay una tendencia creciente no significativa de consumo a medida que transcurre el tiempo del experimento.

Pero, al contrario que en el experimento con *Q. ilex*, no se observa que el consumo medio (en gramos) diario, para el conjunto de los cinco ratones en los tres días que dura el experimento, difiera significativamente entre las dos zonas de consumo expuestas (Figura 24; Student-t test: $t_{[1,28]}=1,3163$, $p=0,1987$), aunque sigue siendo mayor el consumo de mitades bellotas de la zona basal (consumo medio de 2,24 g por ratón y día; el 55,86% de la biomasa total de bellotas ingerida) que de la parte distal (consumo medio de 1,76 g por ratón y día; el 44,14% de la biomasa total de bellotas ingerida). El consumo de la parte distal se ha incrementado en un 40% en *Q. pyrenaica* respecto a *Q. ilex* (Experimento 7A). Ese mismo patrón de consumo se observa analizando los datos para cada ratón individualmente (Figura 25), es decir, diferenciando individuos de *Mus spretus* tampoco se observa un patrón de consumo significativo hacia un mayor consumo de la parte basal frente a la distal. El ANOVA de dos vías con interacción, no muestra independencia entre el individuo y el patrón de consumo (individuo x zona: $F_{[4, 20]}= 1,75$; $p=0,179$) y tampoco muestra preferencia por la parte

basal frente a la distal (zona: $F_{[1, 20]} = 2,02$; $p=0,17$), ni influencia del individuo (individuo: $F_{[4, 20]} = 1,42$; $p=0,26$). No obstante, los ratones 1, 2 y 3 comen más cantidad de la parte basal que de la zona distal, pero los ratones 4 y 5 consumen más de la zona distal (más de 2 g cada uno). El ratón número 3 sigue siendo el que mayor consumo de bellotas presenta (2,5 g) y el ratón número 2 el que menos (1,38 g) siendo el ratón que menos cantidad consume de la zona distal (0,76 g).

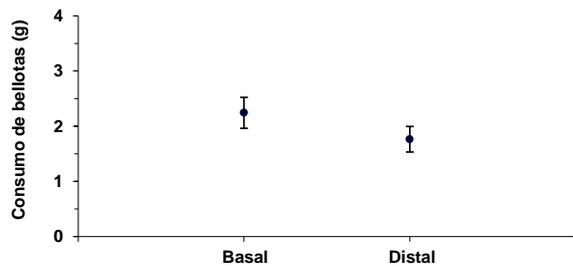


Figura 24. Valor medio y error estándar del consumo de las mitades de bellotas de *Q. pyrenaica* expuestas según la zona de consumo (n=15).

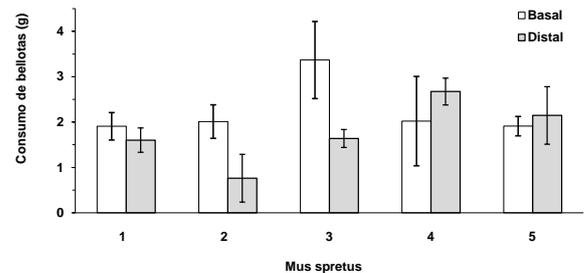


Figura 25. Valor medio y error estándar del consumo de mitades de bellotas de *Quercus pyrenaica* consumidas por cada ratón en los tres días que duró el experimento 7B en función de la zona de consumo (n= 3 días).

Si se analizan en conjunto los datos para las mitades de las bellotas de las dos especies de *Quercus* expuestas, el ANOVA de dos vías con interacción (especie de *Quercus* y zona comida de la bellota; Figura 26) muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el consumo medio diario en función de la especie de *Quercus* ($F_{[1, 56]} = 0,65$; $p=0,42$), pero sí en función de la zona de la bellota (zona: $F_{[1, 56]} = 36,66$; $p<0,001$) aunque ligada a la especie de *Quercus* (interacción zona x especie: $F_{[1, 56]} = 15,43$; $p< 0,001$). Esto significa que sólo en el caso de la encina se observa una preferencia estadísticamente significativa de *Mus spretus* por la parte basal de las bellotas.

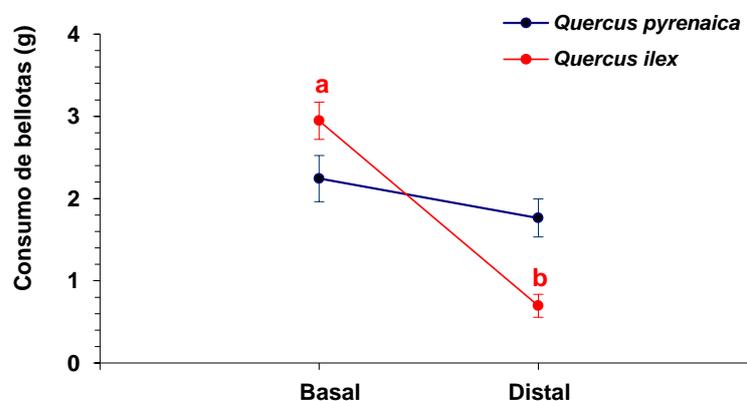


Figura 26 Valor medio y error estándar del consumo medio de mitades de bellotas basales y distales de *Q. ilex* (rojo) y *Q. pyrenaica* (azul), respectivamente (n=15). Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas entre zonas de consumo dentro de cada especie de *Quercus* ($p<0,01$).

DISCUSIÓN

Comportamiento selectivo

La hipótesis inicial era que *Mus spretus* mostraría preferencia por consumir bellotas de unas especies sobre otras, en función de sus características fisicoquímicas como la palatabilidad, la dureza o la composición, ya que muchos estudios (p.e. Perea *et al.* 2011a; Zhang y Zhang 2008; Muñoz y Bonal 2008a) han demostrado que este comportamiento puede influir en el efecto depredador/dispersor de estos roedores en bosques mixtos que dispongan de diferentes bellotas del género *Quercus*, pudiendo afectar de forma distinta a esa fase de reclutamiento o “cuello de botella”.

Los resultados demuestran que *Mus spretus* selecciona las bellotas en función de la especie de *Quercus*. En concreto, *Mus spretus* tiene una clara preferencia por bellotas de *Quercus frainetto* y, en menor medida, de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*. Las especies menos preferidas fueron *Q. suber* y *Q. coccifera* con un consumo medio en gramos casi residual.

Curiosamente, las bellotas del roble húngaro (*Q. frainetto*) resultaron ser las de mayor peso, longitud y diámetro de todas las especies ofrecidas, y a pesar de ser una especie exótica con la que *Mus spretus* nunca entraría en contacto en su hábitat natural, no existió ningún tipo de rechazo hacia su consumo. No obstante, este resultado no nos permite afirmar con rotundidad que *Mus spretus* seleccione las bellotas por el tamaño, ya que una de las especies menos demandadas fue *Q. suber*, cuyas bellotas son las siguientes en mayor tamaño y peso. Por el contrario, *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*, las especies más demandadas después de *Q. frainetto*, no son las que presentaban bellotas de mayor tamaño en los experimentos. La preferencia por estas especies posiblemente esté relacionado con su alto valor nutricional y su bajo contenido en taninos, comprobado, por ejemplo, en el estudio de Pons y Pausas (2007) en *Q. ilex* en relación con *Q. suber* y *Q. coccifera* (las bellotas menos consumidas en nuestra investigación). Otra variable a tener en cuenta podría ser la dureza de la cáscara que recubre a los cotiledones, siendo seleccionadas preferentemente aquellas bellotas con una capa externa más fina y blanda. En este sentido, *Q. robur*, *Q. petraea* y *Q. suber* presentan una corteza mucho más dura y compacta (observación personal). Por su parte los trabajos de Perea *et al.* (2011c) y Rodríguez-Estévez *et al.* (2008) indican que la cáscara de las bellotas es rica en taninos y lignina, siendo seleccionadas primero las bellotas con baja concentración de taninos en la cáscara.

En ausencia de *Q. frainetto* (la especie significativamente más demandada) y de *Q. suber* y *Q. coccifera* (las dos especies significativamente menos consumidas), se observa un

incremento en la preferencia por bellotas de *Q. ilex*, tanto en porcentaje como en cantidad media consumida, respecto al resto de quercíneas disponibles. La explicación puede estar en que el porcentaje de consumo respecto al total de bellotas también se ha incrementado (del 36,7% al 59,3%), debido a la menor variedad de especies disponibles (se pasa de 8 a 5 especies) y, por tanto, al menor número de bellotas ofrecidas de cada una a cada ratón al día (se pasa de ofrecer 16 a 10 bellotas), por lo que la probabilidad de consumir las bellotas de *Q. ilex* aumenta. No obstante, Del Arco y Carretero (2013) encuentran que las bellotas de encina tiene gran proporción de grasas y proteínas, por lo que es posible que *Mus spretus* recurra a ellas con mayor asiduidad durante la época de realización de estos experimentos (Noviembre-Enero), para disponer de mayores recursos para pasar el invierno. Posteriormente, durante el invierno, es probable que incluya en su dieta las bellotas de *Q. pyrenaica* y de otras especies, aunque obtenga de ellas menor rendimiento nutritivo.

Por lo tanto, estos resultados destacan la importancia de considerar más variables a la hora de estudiar las preferencias de consumo de *Mus spretus* por bellotas de diferentes especies. Parece necesario la realización de un estudio previo de todas las características fisicoquímicas de las bellotas de las diferentes quercíneas, tales como el contenido en nutrientes, taninos, dureza de cáscara, tamaño, etc.

El hecho de haber encontrado una preferencia significativa de *Mus spretus* por bellotas de *Q. ilex* puede tener importantes implicaciones para el reclutamiento diferencial en masas mixtas con otras especies de *Quercus*, y ayudaría a explicar por qué la encina es la especie dominante en los bosques mixtos de *Quercus* de la península ibérica. Si la encina es la primera especie elegida para consumir, dispersar y almacenar, sus bellotas tendrán más capacidad para evitar las heladas, la desecación y los daños bióticos producidos por hongos y bacterias (Perea *et al.* 2011c), confiriéndole una mayor probabilidad de sobrevivir que a las semillas que los roedores seleccionan una vez pasado el invierno, ya que éstas permanecen expuestas en el suelo durante las peores épocas. Esta alta capacidad de supervivencia de las bellotas de encina, gracias a su dispersión por roedores, puede ser el mecanismo explicativo de que *Q. ilex* actualmente ocupe mayores extensiones en comarcas de la meseta donde antes compartía hábitats con otras quercíneas como *Q. pyrenaica*. Además, también hay que tener en cuenta los patrones específicos a los que están sujetas todas las especies del género *Quercus* como es la vecería y la disponibilidad anual de la bellota (Liebhold *et al.* 2004), por lo que la selección de las bellotas por especies puede depender también de la producción anual de cada una de ellas (Espelta *et al.* 2009; Sunyer *et al.* 2014).

Implicaciones evolutivas en la selección de bellotas para el consumo

La elección de las bellotas según sus características puede deberse a un aprendizaje de los roedores en función de las especies disponibles, o responder a factores genéticos (claro componente coevolutivo entre el roedor y la especie seleccionada), de modo que los roedores sin ningún tipo de experiencia previa escogen las bellotas de determinadas especies de manera innata, en función de las características de las mismas. Nuestros resultados sugieren que el componente hereditario es muy fuerte en relación con el comportamiento de *Mus spretus* en el manejo y selección de las bellotas como fuente de alimento. De hecho, la preferencia que *Mus spretus* muestra desde el principio por bellotas de determinadas especies de *Quercus* sugiere la existencia de factores genéticos en la elección, pues de lo contrario comería indistintamente de todas las bellotas disponibles, y solo tras un proceso de aprendizaje pasaría a seleccionar las bellotas con las características más apropiadas.

Lo que resulta sorprendente es la preferencia que *Mus spretus* muestra por *Q. frainetto*, una especie exótica con la que esta especie de roedor no ha entrado en contacto a lo largo de su historia evolutiva, cuando lo que cabría esperar es que esta clase de bellota fuera rechazada por estos ratones al no formar parte de su dieta habitual. Es cierto que las bellotas de *Q. frainetto* son las de mayor tamaño de todas las ofrecidas a los ratones en el primer experimento, pero si el tamaño fuese el criterio de la elección esto indicaría que los roedores tendrían incorporado en su código genético que las bellotas más grandes proporcionan más recursos. Este no parece ser el motivo de elección pues la especie de tamaño inmediatamente inferior (*Q. suber*) es una de las dos especies más rechazada desde el inicio del experimento. Tanto *Q. suber* como *Q. coccifera* son las dos especies de bellotas más rechazadas frente a *Q. ilex* (la siguiente preferida por *Mus spretus* tras *Q. frainetto*) por *Apodemus sylvaticus*, otra especie de roedor que ocupa hábitats similares a los de *M. spretus* (Pons y Pausas 2007). Mientras que *Q. faginea* y *Q. pyrenaica* son de las quercíneas más seleccionadas por *Apodemus sylvaticus* junto con *Q. ilex* (Pons y Pausas 2007). Estas tres especies de *Quercus* se encuentran muy extendidas en zonas de la Meseta Central donde tiene su hábitat *M. spretus*. El resto de especies de *Quercus* ofrecidas a *Mus spretus* en nuestros experimentos (*Q. petraea* y *Q. robur*) son menos consumidas y ambas se extienden por la Cordillera Cantábrica donde *M. spretus* no habita.

Por tanto, como *M. spretus* muestra una clara discriminación inicial por bellotas de determinadas especies de *Quercus*, parece que sus preferencias se dirigen más bien hacia las especies que forman parte del hábitat donde sus ancestros han convivido con ellas desde hace tiempo. La excepción la encontramos en *Q. frainetto* elegida, tal vez, por su tamaño o forma.

Muñoz *et al.* (2012) proponen la forma como factor discriminante en la elección del tipo de bellota, incluso intra-específicamente.

No obstante, el estudio del comportamiento hereditario es difícil de realizar en condiciones naturales debido a la influencia de variables ecológicas, así como el estudio de los procesos ecológicos en el aprendizaje es difícil de analizar en el laboratorio (Dukas 2004).

Comportamiento en la gestión de almacenes

Se parte de la teoría de que los roedores pueden tener un dominio sobre sus propios almacenes, sobre todo cuando las densidades de población son muy altas (Steele *et al.* 2008; Jansen *et al.* 2010). Según la hipótesis de Yang y Yi (2012), el consumo parcial de bellotas podría constituir una estrategia para evitar el pillaje en los almacenes. Sin embargo, nuestros resultados demuestran que, más que evitar el hurto en la madriguera, los despojos sirven como distracción o señuelo para preservar las bellotas enteras y mejor conservadas.

A pesar de que los porcentajes de consumo de bellotas ya empezadas por los mismos individuos e intactas fueron similares, los ratones consumieron más cantidad (en gramos) de las bellotas previamente comidas por ellos mismos (casi el doble) que de bellotas intactas, tanto si eran de *Q. ilex* como de *Q. pyrenaica*. El mayor consumo de bellotas empezadas, tanto por el mismo individuo como por otro, sugiere que *Mus spretus* prefiere ahorrarse el esfuerzo de tener que abrir nuevas bellotas. Consume más las bellotas ya abiertas al tener zonas por las que acceder y no tener que atravesar la cáscara, donde se encuentran la mayor parte de sustancias desagradables, como los taninos (Perea *et al.* 2011c; Rodríguez-Estévez *et al.* 2008).

Por otro lado, el consumo parcial de las bellotas podría interpretarse como una estrategia de marcaje de bellotas, con vistas a evitar que se las coma un competidor si las localiza, de acuerdo con la hipótesis de Yang y Yi (2012). No obstante, el mayor consumo de bellotas previamente comidas, tanto por el mismo individuo como por otro, sugiere más bien que *Mus spretus* utiliza las bellotas parcialmente comidas como señuelo o distracción para preservar el resto de las bellotas enteras y mejor conservadas. Es decir, *Mus spretus* prefiere consumir los despojos de otro roedor antes que empezar bellotas nuevas y, por lo tanto, se descartaría la teoría de Jansen *et al.* (2010) y Yang y Yi (2012) de que la conducta del roedor en los almacenes sigue señales identificativas como el olor o la forma en la que estén comidas para evitar el pillaje. Por el contrario, la estrategia de *Mus spretus* parece ser el consumo de bellotas de otros ratones para dejar sin recursos y reservas a los competidores, y reducir su capacidad de competir. De este modo *Mus spretus* evita a un competidor mientras sus reservas, las bellotas que el propio ratón ha mordido antes, quedan intactas para posteriores consumos y

necesidades. Este comportamiento apoya la idea de que los despojos propios sirven para distraer a los ladronzuelos de las bellotas enteras, y se da para las dos especies de *Quercus* ofrecidas a los ratones (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*) aunque no sea significativo para ninguna de ellas.

Por tanto, con estos resultados, se descarta la hipótesis de que las bellotas parcialmente comidas pueden ser vistas como despojos por otros roedores y utilizadas para evitar el pillaje. El robo de almacenes ajenos resulta más rentable desde el punto de vista selectivo; al reducir las despensas y los recursos de competidores se reduce la presión competitiva de éstos.

Otra conclusión destacable de estos resultados es la tendencia diferente que se empieza a observar entre las dos especies de *Quercus* ofrecidas (*Q. ilex* y *Q. pyrenaica*). No existen diferencias significativas ni en el porcentaje de consumo ni en la cantidad consumida entre las dos especies. Por tanto, teniendo en cuenta que ambos experimentos se realizaron en enero, es probable que a medida que va pasando el invierno *Mus spretus* ya no necesite consumir y almacenar bellotas de especies con mayores recursos nutritivos (*Q. ilex*) y empieza a seleccionar otras especies para alimentarse (*Q. pyrenaica*).

Patrón de consumo de las bellotas

Los resultados muestran que *Mus spretus* practica un consumo parcial de las bellotas, como también lo hacen otras especies de roedores con las que comparte hábitat (*Apodemus sylvaticus*; Perea *et al.* 2011b). Este resultado parece apoyar la hipótesis del saciamiento (Bonal *et al.* 2007; Muñoz y Bonal 2008a; Perea *et al.* 2011b), según la cual los roedores prefieren mordisquear varias bellotas, en vez de comer una por completo, debido al efecto de saciamiento producido por la poca diferencia entre el tamaño del roedor y la bellota. No obstante, también puede ser una estrategia para disponer de bellotas parcialmente comidas, que sirvan como distracción o señuelo para otros roedores y así conservar el resto de las bellotas enteras y mejor conservadas, tal y como se argumenta en el apartado anterior.

El consumo parcial de las bellotas de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica*, preferentemente por la parte basal, sugiere que *Mus spretus* procesa las bellotas siguiendo una conducta destinada a preservar el embrión (situado en la parte distal), de acuerdo con los resultados obtenidos por Chang *et al.* (2009). Esta conducta tiene importantes implicaciones evolutivas y podría ayudar a explicar la existencia de relaciones mutualistas entre las especies de *Quercus* y sus depredadores/dispersantes como *Mus spretus*. Según Perea *et al.* (2014), las bellotas disponen de reservas adicionales (más allá de las necesarias para una correcta germinación), lo que podría estar relacionado con una mayor atracción para la fauna dispersora, que les permiten germinar tolerando un consumo parcial de hasta un 1/3 de su biomasa (hasta con el 60% de

cotiledones comidos). No obstante, algunos autores (Steele *et al.* 1993) atribuyen este comportamiento por parte del roedor a la presencia de sustancias como taninos en las inmediaciones del embrión. Sin embargo, es probable que la implicación del roedor en la conservación del embrión sea más activa y que en su código genético se encuentre ya incorporada la conducta conservadora.

Ahora bien, el porcentaje relativo de bellotas consumidas por la parte basal depende de la especie de *Quercus*, siendo mayor para *Q. ilex* que para *Q. pyrenaica*. Teniendo en cuenta que *Mus spretus* muestra mayor preferencia por bellotas de *Q. ilex* que de *Q. pyrenaica*, posiblemente debido a su mayor valor nutricional y por contener menos sustancia desagradables (Pons y Pausas 2007), es posible que esas sustancias desagradables se encuentren únicamente en la porción de cotiledones próximos al embrión en *Q. ilex* y estén más repartidas en los cotiledones de *Q. pyrenaica*. De acuerdo con esta explicación, Steele *et al.* (1993) justifican que la supervivencia de los embriones de algunas especies de *Quercus* se debe a la mayor concentración de taninos en el entorno del embrión para disuadir de su consumo a los roedores.

La razón de proporcionar a los ratones mitades distales y basales de las bellotas de *Q. ilex* y *Q. pyrenaica* era intentar discriminar si *M. spretus* selecciona la parte basal de las bellotas para el consumo basándose en la estructura física de la bellota o en factores químicos. Si fueran los factores químicos, sería la planta la que controlaría la relación entre roedor y bellota, forzando al roedor a consumir la parte de la bellota en la que no está el embrión, por ejemplo mediante la concentración de sustancias recalitrantes en las proximidades del mismo, tal y como argumentan Steele *et al.* (1993). Esto implicaría que cada mitad de la bellota podría llevar distinta concentración de sustancias, ejerciendo un efecto diferente sobre el roedor. Si la identificación de la estructura basal se hiciera por el aspecto físico, la conducta del roedor sería heredada pues estos roedores no tienen experiencia en cuanto la utilización de bellotas como alimento, como para haber adquirido esta destreza. Nuestros resultados no son concluyentes en cuanto a la identificación del mecanismo de selección de las mitades basales. En cambio, se observa que el ratón moruno deja intacto el embrión en un alto porcentaje de bellotas con las que entra en contacto, ya que unas quedan intactas, otras son atacadas por la parte basal y de las que son atacadas por la parte distal un porcentaje importante conserva el embrión. Por tanto, parece claro es que *Mus spretus* presenta una conducta en el tratamiento de bellotas para el consumo, destinada a conservar el embrión y, por tanto, a mantener la capacidad de germinación, en la inmensa mayoría de las bellotas que procesa, tal y como encuentran Yi *et al.* (2012) para otras especies de roedores. Este resultado da idea de que aunque los ratones se alimenten de bellotas, mayoritariamente no afectan a sus posibilidades de germinación, a no ser que sean comidas por completo. No obstante, este resultado depende de la especie de

Quercus, pues al ser mayor el número de bellotas de *Q. pyrenaica* que *Mus spretus* come por la parte distal, el porcentaje de bellotas que no conservan el embrión es mayor en esta especie comparado con *Q. ilex*.

En el caso particular de *Q. pyrenaica* existe una mayor proporción, sin ser elevada, de bellotas comidas por la parte distal, en comparación con *Q. ilex*. En muchas de ellas se ha observado un pequeño orificio junto al embrión realizado de forma similar en todas ellas. En algunos casos *Mus spretus* aprovechó este orificio para extraer únicamente el embrión, como si el objetivo fuera evitar la germinación de la bellota. Este comportamiento ha sido observado por Steele *et al.* (2001) en ardillas que cercenan el embrión para conservar más tiempo la bellota en los almacenes. En otros casos el embrión permanecía intacto al lado del orificio y aparecía una pequeña oquedad por encima del embrión que posiblemente habría estado ocupado por una pequeña larva de curculiónido.

No obstante, no parece observarse en *Mus spretus* un comportamiento similar al observado por Steele *et al.* (2001) en ardillas, en cuanto a eliminar la viabilidad del embrión para conservar durante más tiempo la bellota intacta para un consumo posterior. De hecho, *Mus spretus* come preferentemente mitades basales de bellotas de encina (57,3% y 2,94 g por ratón y día), frente a las mitades distales (25,3% y 0,69 g por ratón y día), preservando el embrión en el 51,7% de las bellotas consumidas por la parte distal. Ni siquiera frente a bellotas de *Q. pyrenaica*, de las que *Mus spretus* come porcentajes y cantidades similares de las partes basal y distal (basal: 57,3% y 2,24g por ratón y día; distal: 49,3% y 1,76g por ratón y día), parece haber un comportamiento dirigido a eliminar la viabilidad del embrión, ya que el 59,9% de las mitades distales comidas conservan el embrión.

CONCLUSIÓN

1. *Mus spretus* selecciona las bellotas en función de la especie de *Quercus*, pero el tamaño de las mismas no parece ser el criterio de selección. Es necesario, por tanto, la realización de un estudio previo de todas las características fisicoquímicas de las bellotas de las diferentes quercíneas para poder identificar los mecanismos que determinan la selección.
2. Los experimentos muestran una significativa preferencia por las bellotas de *Quercus ilex*, lo que ayudaría a explicar en parte su dominancia en los bosques mixtos compuestos por especies de *Quercus*.

-
3. El análisis del comportamiento en la gestión de almacenes sugiere que *Mus spretus* utiliza los despojos de bellotas, más que para evitar los robos en las madrigueras, como distracción o señuelo para preservar las bellotas enteras y mejor conservadas.
 4. *Mus spretus* practica un consumo parcial de las bellotas que podría estar, en parte, de acuerdo con la hipótesis del saciamiento, pero también responder a la estrategia de conservar bellotas enteras y mejor conservadas (conclusión 3).
 5. El consumo parcial de las bellotas por la parte basal sugiere que *Mus spretus* procesa las bellotas siguiendo una conducta destinada a preservar el embrión, por lo menos en el caso de la encina, posiblemente debido a una mayor concentración de sustancias recalcitrantes en la parte distal, en la que se encuentra el embrión. Para *Q. pyrenaica*, sin embargo, no parece haber preferencia por el consumo de la bellota por la parte basal o distal posiblemente por un reparto más homogéneo de las sustancias recalcitrantes por toda la bellota. De nuevo, se pone de manifiesto la necesidad de realizar análisis químicos de las bellotas para obtener resultados concluyentes.
 6. Los resultados obtenidos ayudan, aunque sea de forma modesta, a profundizar en la comprensión de la posible relación mutualista quercínea-roedor y de las implicaciones evolutivas que esto conlleva. Los roedores pueden transportar, enterrar, gestionar y consumir bellotas, obteniendo alimento y recursos para pasar el invierno, sin que pierdan su viabilidad, y al mismo tiempo proporcionar un beneficio a la planta, al transportar las bellotas lejos del árbol madre (reduciendo la competencia intra-específica) y mejorar las condiciones para su germinación.
 7. A pesar de que los ensayos en el laboratorio han coincidido en el tiempo con el momento de dispersión y caída de las bellotas en el campo, los resultados obtenidos no garantizan que los comportamientos observados sean generalizables a su comportamiento en campo, ya que las condiciones naturales son diferentes en función del hábitat en el que se encuentre el roedor y de las especies de quercíneas disponibles. Posteriores estudios en campo pueden ayudar a fortalecer los resultados y permitirían profundizar más en las consecuencias que tiene el comportamiento de los roedores en el acaparamiento y dispersión de bellotas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bonal, R., Munoz, A., & Diaz, M. (2007). Satiation of predispersal seed predators: The importance of considering both plant and seed levels. **Evolutionary Ecology**, 21(3), 367-380.
- Cantos, E., Espin, J. C., Lopez-Bote, C., De la Hoz, L., Ordonez, J. A., & Tomas-Barberan, F. A. (2003). Phenolic compounds and fatty acids from acorns (*quercus* spp.), the main dietary constituent of free-ranged iberian pigs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51(21), 6248-6255.
- Chang, G., Xia, Z., & Zhang, Z. (2009). Hoarding decisions by edward's long-tailed rats (*Leopoldamys edwardsi*) and south china field mice (*apodemus draco*): The responses to seed size and germination schedule in acorns. **Behavioural Processes**, 82(1), 7-11.
- Clark, J., Macklin, E., & Wood, L. (1998). Stages and spatial scales of recruitment limitation in southern appalachian forests. **Ecological Monographs**, 68(2), 213-235.
- Del Arco, J.M., & Carretero, M. (2012). Preferencias en el consumo de bellotas por *Mus spretus* Lataste (1883) y su influencia en la dispersión de especies quercíneas. **Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación**, 95-100.
- Den Ouden, J., Jansen, P. A., & Smit, R. (2005). Jays, Mice and Oaks: Predation and Dispersal of *Quercus robur* and *Q. petraea* in North-western Europe. **Seed Fate: Predation, dispersal, and seedling establishment**, 223-240.
- Dukas, R. (2004). Evolutionary biology of animal cognition. **Annual Review of Ecology Evolution and Systematics**, 35, 347-374.
- Eriksson, O., & Ehrlén, J. (2008). Seedling recruitment and population ecology. **Seedling Ecology and Evolution. Cambridge: Cambridge University Press**, 239-254.
- Gómez, J. M. (2003). Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. **Ecography**, 26(5), 573-584.
- Espelta, J.M., Bonal, R., & Sánchez-Humanes, B. (2009). Pre-dispersal acorn predation in mixed oak forests: interspecific differences are driven by the interplay among seed phenology, seed size and predator size. **Journal of Ecology** 97, 1416–1423.
- Gomez, J. M., Puerta-Pinero, C., & Schupp, E. W. (2008). Effectiveness of rodents as local seed dispersers of holm oaks. **Oecologia**, 155(3), 529-537.
- Guisande, C. G., Lise, A. V., & Felpeto, A. B. (2011). Tratamiento de datos con R, STATISTICA y SPSS. **Ediciones Díaz de Santos**.
- Herrera, J. (1995). Acorn predation and seedling production in a low-density population of cork oak (*Quercus-suber* L). **Forest Ecology and Management**, 76(1-3), 197-201.
- Houle, G. (1992). Spatial relationship between seed and seedling abundance and mortality in a deciduous forest of north-eastern north-america. **Journal of Ecology**, 80(1), 99-108.
- Jansen, P., Bongers, F., & Hemerik, L. (2004). Seed mass and mast seeding enhance dispersal by a neotropical scatter-hoarding rodent. **Ecological Monographs**, 74(4), 569-589.
- Jansen, P. A., Elschot, K., Verkerk, P. J., & Wright, S. J. (2010). Seed predation and defleshing in the agouti-dispersed palm *Astrocaryum standleyanum*. **Journal of Tropical Ecology**, 26, 473-480.

-
- Kirkpatrick, R., & Pekins, P. (2001). Nutritional value of acorns for wildlife. **Oak Forest Ecosystems**, 173-181.
- Kollmann, J., & Schill, H. P. (1996). Spatial patterns of dispersal, seed predation and germination during colonization of abandoned grassland by *Quercus petraea* and *Corylus avellana*. **Vegetatio**, 125(2), 193-205.
- Le Page, P. T., Canham, C. D., Coates, K. D., & Bartemucci, P. (2000). Seed abundance versus substrate limitation of seedling recruitment in northern temperate forests of british columbia. **Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere**, 30(3), 415-427.
- Leiva, M., & Fernandez-Ales, R. (1998). Variability in seedling water status during drought within a *Quercus ilex* subsp. *ballota* population, and its relation to seedling morphology. **Forest Ecology and Management**, 111(2-3), 147-156.
- Leiva, M. J., & Fernández-Alés, R. (2003). Post-dispersive losses of acorns from mediterranean savannah-like forests and shrublands. **Forest Ecology and Management**, 176(1-3), 265-271.
- Marañón, T., Díaz, C. M. P., Ramos, I. M. P., & Villar, R. (2014). Tendencias en la investigación sobre ecología y gestión de las especies de *Quercus*. **Revista Ecosistemas**, 23(2), 124-129.
- Mendoza, E., & Dirzo, R. (2007). Seed-size variation determines interspecific differential predation by mammals in a neotropical rain forest. **Oikos**, 116(11), 1841-1852.
- Morán-López, T., Fernández, M., Alonso, C. L., Flores-Rentería, D., Valladares, F., & Díaz, M. (2015). Effects of forest fragmentation on the oak-rodent mutualism. **Oikos**.
- Munoz, A., & Bonal, R. (2008a). Are you strong enough to carry that seed? seed size/body size ratios influence seed choices by rodents. **Animal Behaviour**, 76, 709-715.
- Munoz, A., & Bonal, R. (2008b). Seed choice by rodents: Learning or inheritance? **Behavioral Ecology and Sociobiology**, 62(6), 913-922.
- Muñoz, A., Bonal, R., & Espelta, J. M. (2012). Responses of a scatter-hoarding rodent to seed morphology: links between seed choices and seed variability. **Animal Behaviour**, 84(6), 1435-1442.
- Pausas, J.G., Marañón, T., Caldeira, M. & Pons, J. (2009) Natural regeneration. Cork Oak Woodlands on the Edge. **Ecology, Adaptive Management and Restoration**, 115-124.
- Perea, R., San Miguel, A., & Gil, L. (2011a). Acorn dispersal by rodents: The importance of re-dispersal and distance to shelter. **Basic and Applied Ecology**, 12(5), 432-439.
- Perea, R., San Miguel, A., & Gil, L. (2011b). Leftovers in seed dispersal: Ecological implications of partial seed consumption for oak regeneration. **Journal of Ecology**, 99(1), 194-201.
- Perea, R., Gonzalez, R., San Miguel, A., & Gil, L. (2011c). Moonlight and shelter cause differential seed selection and removal by rodents. **Animal Behaviour**, 82(4), 717-723.
- Perea, R., San Miguel, A., & Gil, L. (2014). Interacciones planta-animal en la regeneración de *Quercus pyrenaica*: ecología y gestión. **Revista Ecosistemas**, 23(2), 18-26.
- Pérez-Ramos, I. M., Urbieto, I. R., Zavala, M. A., & Maranon, T. (2012). Ontogenetic conflicts and rank reversals in two mediterranean oak species: Implications for coexistence. **Journal of Ecology**, 100(2), 467-477.

-
- Pérez-Ramos, I. M., Verdu, J. R., Numa, C., Maranon, T., & Lobo, J. M. (2013). The comparative effectiveness of rodents and dung beetles as local seed dispersers in mediterranean oak forests. **Plos One**, 8(10), e77197.
- Pérez-Ramos, I. M., Aponte, C., Garcia, L. V., Padilla-Diaz, C. M., & Maranon, T. (2014). Why is seed production so variable among individuals? A ten-year study with oaks reveals the importance of soil environment. **PLoS One**, 9(12).
- Pérez-Ramos, I. M., (2014). El milagro de regenerar en especies de *Quercus*. ¿ Cómo serán los bosques del futuro?. **Revista Ecosistemas**, 23(2), 13-17.
- Pons, J., & Pausas, J. G. (2007). Rodent acorn selection in a mediterranean oak landscape. **Ecological Research**, 22(4), 535-541.
- Pulido, F., & Diaz, M. (2005). Regeneration of a mediterranean oak: A whole-cycle approach. **Ecoscience**, 12(1), 92-102.
- Rodríguez-Estévez, V., García, A., Mata, C., Perea Muñoz, J. M. & Gómez Castro, A.G. 2008. Dimensiones y Características Nutritivas de las Bellotas de los *Quercus* de la Dehesa. **Archivos de zootecnia. Departamento de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba**. 57, 1-12.
- Ruperez, A. (1957). La encina y sus tratamientos. **Ediciones Selvícolas, Madrid**.
- Santos, T., & Telleria, J. (1997). Vertebrate predation on holm oak, *Quercus ilex*, acorns in a fragmented habitat: Effects on seedling recruitment. **Forest Ecology and Management**, 98(2), 181-187.
- Schupp, E. (1990). Annual variation in seedfall, postdispersal predation, and recruitment of a neotropical tree. **Ecology**, 71(2), 504-515.
- Shimada, T. (2001). Hoarding behaviors of two wood mouse species: Different preference for acorns of two fagaceae species. **Ecological Research**, 16(1), 127-133.
- Smallwood, P. D., Steele, M. A., & Faeth, S. H. (2001). The ultimate basis of the caching preferences of rodents, and the oak-dispersal syndrome: Tannins, insects, and seed germination. **American Zoologist**, 41(4), 840-851.
- Soria, F.J., Cano, E., & Ocete, M.E. (1996). Efectos del ataque de fitófagos perforadores en el fruto de la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.). **Bol de Sanidad Vegetal Plagas**, 22, 427-432
- Steele, M. A., Knowles, T., Bridle, K., & Simms, E. L. (1993). Tannins and partial consumption of acorns - implications for dispersal of oaks by seed predators. **American Midland Naturalist**, 130(2), 229-238.
- Steele, M. A., Smallwood, P. D., Spunar, A., & Nelsen, E. (2001). The proximate basis of the oak dispersal syndrome: Detection of seed dormancy by rodents. **American Zoologist**, 41(4), 852-864.
- Steele, M. A., Halkin, S. L., Smallwood, P. D., Mckenna, T. J., Mitsopoulos, K., & Beam, M. (2008). Cache protection strategies of a scatter-hoarding rodent: Do tree squirrels engage in behavioural deception? **Animal Behaviour**, 75, 705-714.
- Steele, M. A., Bugdal, M., Yuan, A., Bartlow, A., Buzalewski, J., Lichti, N., & Swihart, R. (2011). Cache placement, pilfering, and a recovery advantage in a seed-dispersing rodent: Could predation of scatter hoarders contribute to seedling establishment? **Acta Oecologica-International Journal of Ecology**, 37(6), 554-560.

-
- Sunyer, P., Espelta, J. M., Bonal, R., & Munoz, A. (2014). Seeding phenology influences wood mouse seed choices: The overlooked role of timing in the foraging decisions by seed-dispersing rodents. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, 68(7), 1205-1213.
- Torroba-Balmori, P., Zaldívar, P., Alday, J. G., Fernández-Santos, B., & Martínez-Ruiz, C. (2015). Recovering *Quercus* species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. **Ecological Engineering**, 77, 146-153.
- Vander Wall, S., & Longland, W. (2004). Diplochory: Are two seed dispersers better than one? **Trends in Ecology & Evolution**, 19(3), 155-161.
- Vander Wall, S. B., Kuhn, K. M., & Beck, M. J. (2005). Seed removal, seed predation, and secondary dispersal. **Ecology**, 86(3), 801-806.
- Villar, R., Lopez-Iglesias, B., Ruiz-Benito, P., De la Riva, E.G., de Zavala, M.A. 2014. Crecimiento de plántulas y árboles de seis especies de *Quercus*. **Ecosistemas** 23(2): 64-72.
- Wang, B., & Chen, J. (2009). Seed size, more than nutrient or tannin content, affects seed caching behavior of a common genus of old world rodents. **Ecology**, 90(11), 3023-3032.
- Xiao, Z., Zhang, Z., & Wang, Y. (2004). Impacts of scatter-hoarding rodents on restoration of oil tea *Camellia oleifera* in a fragmented forest. **Forest Ecology and Management**, 196(2-3), 405-412.
- Xiao, Z., Chang, G., & Zhang, Z. (2008). Testing the high-tannin hypothesis with scatter-hoarding rodents: Experimental and field evidence. **Animal Behaviour**, 75, 1235-1241.
- Yang, Y., & Yi, X. (2012). Partial acorn consumption by small rodents: Implication for regeneration of white oak, *Quercus mongolica*. **Plant Ecology**, 213(2), 197-205.
- Yi, X., Steele, M. A., & Zhang, Z. (2012). Acorn pericarp removal as a cache management strategy of the siberian chipmunk, *Tamias sibiricus*. **Ethology**, 118(1), 87-94.
- Yi, X., Curtis, R., Bartlow, A. W., Agosta, S. J., & Steele, M. A. (2013). Ability of chestnut oak to tolerate acorn pruning by rodents. **Naturwissenschaften**, 100(1), 81-90.
- Zhang, H., & Zhang, Z. (2008). Endocarp thickness affects seed removal speed by small rodents in a warm-temperate broad-leafed deciduous forest, china. **Acta Oecologica-International Journal of Ecology**, 34(3), 285-293.
- Zhang, M., Steele, M. A., & Yi, X. (2013). Reconsidering the effects of tannin on seed dispersal by rodents: Evidence from enclosure and field experiments with artificial seeds. **Behavioural Processes**, 100, 200-207.