



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

Escuela Técnica Superior de
Ingenierías Agrarias

**Máster en Investigación en Ingeniería para la
Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales**

**Influencia del tipo de suelo y del tamaño de la
bellota de dos especies de *Quercus* (*Q. petraea* y
Q. pyrenaica) en la velocidad de germinación y
emergencia de plántulas**

Autor: Héctor Fuente Francisco

Tutores: Dra. Carolina Martínez-Ruiz

José María del Arco Montero

Septiembre de 2015

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mis tutores, Carolina y Chema, por el apoyo y la atención que me han mostrado, y por su esfuerzo para que este trabajo saliera finalmente adelante. A Chema, por su colaboración, ayuda e interés, y a Carolina, por sus consejos, sugerencias e ideas, así como por su destacable constancia, empeño y paciencia.

Mi agradecimiento también a compañeros y amigos por su interés y preocupación, y de forma especial a David Beltrán, por su colaboración en la recogida de suelos y bellotas, y por servir de apoyo en los momentos de incertidumbre.

A mi familia, a mi madre, por su ánimo y preocupación constante, y a mi padre, tíos, primos y abuelos, por estar ahí.

En Salinas de Pisuerga (Palencia), a 25 de agosto de 2015

Héctor

Índice

Resumen.....	1
Introducción.....	3
Material y métodos.....	5
Área de estudio.....	5
Recogida de bellotas y suelo, y posterior manipulación.....	6
Diseño experimental de laboratorio.....	7
Tratamiento de los datos.....	8
Resultados.....	10
Características de los suelos.....	10
Dimensiones y peso de las bellotas experimentales.....	11
Germinación (porcentaje, duración y velocidad).....	14
Emergencia desde la siembra (porcentaje, duración y velocidad).....	18
Crecimiento.....	23
Discusión.....	26
Conclusiones.....	30
Bibliografía.....	31

RESUMEN

La regeneración natural de quercíneas en ambientes mediterráneos es muy limitada, y especialmente en ambientes perturbados, como los afectados por la minería del carbón en el norte de la provincia de Palencia. Normalmente la regeneración viene condicionada por las primeras fases del establecimiento, influyendo conjuntamente en el reclutamiento tanto factores externos (sequía estival y herbivoría), como las características intrínsecas de las bellotas (p.e. el tamaño). También las limitaciones edáficas de los suelos mineros en comparación con los del bosque natural circundante (ausencia de estructura edáfica, menor fertilidad, gran heterogeneidad espacial) pueden suponer un condicionante añadido para el establecimiento de nuevos ejemplares de *Quercus*. Por tanto, este estudio tiene como principal objetivo valorar la influencia del tipo de suelo y del tamaño de la bellota, de dos especies de *Quercus* (*Q. petraea* y *Q. pyrenaica*) características de los bosques del norte de la provincia de Palencia, en la velocidad de germinación y de emergencia de las plántulas, así como en el crecimiento de las mismas a corto plazo. Para ello, se plantea un experimento de laboratorio que duró 141 días, consistente en la siembra de 25 bellotas de cada especie de *Quercus* (*Q. petraea* y *Q. pyrenaica*) y de cada tamaño (grandes y pequeñas) en cada uno de los tres tipos de suelo (del bosque adyacente, y bajo matorral o pastizal en suelos mineros restaurados); en total se sembraron 300 bellotas. Los resultados obtenidos muestran que el tamaño de la bellota no influye en las tasas de germinación y emergencia de plántulas, pero sí en la velocidad de germinación y en el crecimiento de las plántulas en ambas especies. Las bellotas pequeñas tienden a germinar antes, pero originan plántulas de menor biomasa. Los porcentajes de germinación y emergencia son mayores en *Q. pyrenaica* que en *Q. petraea*. Finalmente, se observó que el tipo de suelo solo afecta durante la fase de crecimiento de las plántulas en las dos especies estudiadas, marcando diferencias en la biomasa aérea y/o subterránea, en función de las condiciones limitantes de cada ambiente. Los resultados de este estudio pueden ayudar a comprender mejor algunos aspectos relacionados con la regeneración natural de las quercíneas, además de aportar información a tener en cuenta en la gestión forestal de ambientes perturbados.

Palabras claves: tamaño de la semilla, tipo de suelo, germinación, emergencia, crecimiento de plántulas, *Quercus* spp.

ABSTRACT

Natural regeneration of *Quercus* species under Mediterranean conditions is very limited, particularly in degraded ecosystems such as those affected by open-cast coal mines in northern Palencia. Regeneration is usually restricted during the first stages of establishment, influenced jointly by low recruitment external factors (summer drought, herbivory) as well as the intrinsic characteristics of acorns (e.g. size). Also mine-soil deficiencies in comparison with natural soil in the forests surrounding the restored mines (no edaphic structure, low fertility, great spatial heterogeneity) could become another factor limiting the establishment of new *Quercus* seedlings. Therefore, this study aims to assess the influence of soil type and acorn size on the germination, emergence and early growth of two *Quercus* species (*Q. petraea* and *Q. pyrenaica*) typical of the northern Palencia forests. For this purpose, a laboratory experiment was carried out during 141 days, which consists in sowing 25 acorns of each *Quercus* species and of each size (big, small) in each of three soil types (from the natural adjacent forest, and from shrublands or grasslands into the restored coal mines); a total of 300 acorns were seeded. Results showed that acorn size does not influence germination and emergence final rates but influence the germination speed and early growth of seedlings from both *Quercus* species. Small acorns tend to germinate early but result in seedlings with lower biomass. Germination and emergence final rates were higher for *Q. pyrenaica* than for *Q. petraea*. Finally, it was shown that the soil type only affects during the seedling growth stage, inducing differences in above- and/or below-biomass according to the limiting conditions of each environment. The results derived from this study can help to improve our knowledge on *Quercus* species natural regeneration, and hence to provide information of great importance for forest management of perturbed environments.

Keywords: acorn size, soil type, germination, emergence, seedling growth, *Quercus* spp.

INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Quercus* dominan gran parte de los ecosistemas forestales del hemisferio norte en general, y de la Península Ibérica en particular (Villar *et al.* 2014), constituyendo uno de los géneros botánicos más relevantes, tanto por su amplia distribución geográfica como por su gran importancia ecológica y económica. Cabe destacar en este sentido los servicios ecosistémicos que estas masas forestales proporcionan en aspectos relacionados con la regulación del clima, la formación y protección del suelo, o su contribución al mantenimiento de la biodiversidad, así como los recursos que son capaces de proporcionar (madera, leña, alimento para el ganado) y sus valores culturales asociados (paisajísticos, recreativos, de identidad cultural). Por todos estos motivos, muchas de estas especies han sido y continúan siendo el centro de atención de numerosos estudios científicos relacionados con la ecología y la gestión forestal (Marañón *et al.* 2012; Díaz-Maroto *et al.* 2014).

Una de las líneas de investigación que mayor interés ha despertado es la relativa a la regeneración de las quercíneas (Marañón *et al.* 2012). La regeneración natural en los bosques mediterráneos de quercíneas es muy limitada, y normalmente viene condicionada por las primeras fases del establecimiento (Castro *et al.* 2006).

Las principales limitaciones para el reclutamiento de nuevos individuos en los bosques de quercíneas son la sequía estival y la herbivoría, especialmente la depredación post-dispersiva de bellotas (Gómez *et al.* 2003; Pulido y Díaz 2005; González-Rodríguez 2010; Torroba-Balmori *et al.* 2015). Pero aparte de estos factores externos, las características intrínsecas de las bellotas, como es el caso del tamaño, pueden influir también en las probabilidades de éxito durante el establecimiento (González-Rodríguez 2010).

Se ha observado que el tamaño de semilla puede influir en el porcentaje y la velocidad de germinación y emergencia de plántulas de algunas quercíneas (Gómez 2004; Tilki 2010; Moro 2011). Las especies con semillas más grandes y, por tanto, con mayores reservas disponibles, confieren a la plántula ventajas durante la fase de reclutamiento, como por ejemplo, mayores tasas de emergencia y de supervivencia (Gómez 2004; Moles y Westoby 2004; Urbietta *et al.* 2008; Villar 2014). Por otra parte, la velocidad de germinación y emergencia juega un papel crucial en el establecimiento de nuevas plántulas, especialmente bajo condiciones de competitividad, con mayores ventajas para aquellas que germinan y emergen más tempranamente (Seiwa 2000).

Las bellotas de *Quercus* presentan un amplio rango de pesos y tamaños, determinado no solo a nivel inter-específico, sino que la variabilidad también es destacable dentro de una misma especie, e incluso entre individuos de la misma población. Sin embargo, apenas

existen estudios que analicen los efectos de esta variabilidad intrapoblacional sobre la capacidad regenerativa de las quercíneas (González-Rodríguez 2010).

Esta circunstancia de regeneración limitada en las quercíneas cobra más relevancia, si cabe, dentro de la actual situación de deterioro que, en muchos casos, sufren este tipo de ecosistemas debido a diferentes perturbaciones asociadas con la histórica actividad humana (deforestación, incendios, minería) (Castro *et al.* 2006). La actividad minera del carbón a cielo abierto ha generado importantes cicatrices en la matriz forestal del norte de la provincia de Palencia (Milder *et al.* 2013), cuyos bosques están dominados por quercíneas sobre todo de las especies *Q. pyrenaica* y *Q. petraea*. Las diferencias edáficas observadas en los huecos mineros restaurados respecto al bosque circundante, con la ausencia de estructura en el suelo de los primeros (Alday *et al.* 2012), y la heterogeneidad edáfica presente dentro de la propia superficie minera (López-Marcos 2012; Milder *et al.* 2013), pueden suponer un condicionante añadido para el establecimiento de nuevos ejemplares de *Quercus*. En particular, se han encontrado importantes diferencias edáficas, dentro de los suelos mineros, en función del tipo de comunidad vegetal asentada: pastizal, matorral (López-Marcos 2012). No obstante, teniendo en cuenta que el desarrollo de la plántula durante las primeras fases depende básicamente de las reservas presentes en los cotiledones (Rodríguez-Calcerrada *et al.* 2011), es interesante valorar hasta qué punto el tipo de suelo en el que se siembran las bellotas tiene alguna influencia sobre parámetros relacionados con la germinación de las bellotas y la emergencia de plántulas del género *Quercus*.

En este contexto, se plantea este trabajo de investigación cuyo objetivo general es analizar la influencia del tipo de suelo (del bosque adyacente, y bajo matorral o pastizal en suelos mineros restaurados) y del tamaño de la bellota, de dos especies de *Quercus* (*Q. petraea* y *Q. pyrenaica*) características de los bosques del norte de la provincia de Palencia, en la velocidad de germinación y de emergencia de las plántulas, así como en el crecimiento de las mismas a corto plazo.

Para la consecución de ese objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Valorar si el tamaño de bellota y el tipo de suelo influyen en el porcentaje, duración y velocidad de la germinación de las bellotas y de la emergencia de las plántulas de dos especies de quercíneas (*Quercus pyrenaica* y *Quercus petraea*).
2. Comprobar si dicho comportamiento difiere entre ambas especies.
3. Analizar la influencia conjunta del tamaño de la bellota y del tipo de suelo en el crecimiento de las plántulas (biomasa aérea, subterránea y total) de ambas especies de *Quercus*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Las muestras de suelo y las bellotas empleadas en el estudio fueron recogidas en el noroeste de la provincia de Palencia, muy cerca de la localidad de Guardo. Se trata de una zona montañosa con una altitud media de 1180 m, situada en las estribaciones más meridionales de la Cordillera Cantábrica, dentro de la cuenca carbonífera Guardo-Cervera de Pisuegra. El clima es mediterráneo subhúmedo (MAPA 1991), con 995 mm de precipitación media anual, más abundante en primavera y otoño, y con sequía estival en julio y agosto. La temperatura media anual es de 9,2 °C (Milder *et al.* 2013).

En concreto, el área de estudio se sitúa en el paraje denominado “El Sestil” en el Monte Corcos, al oeste de Guardo (42° 47’ de latitud Norte; 4° 50’ de longitud Oeste) y corresponde a un antiguo hueco minero, hoy en día restaurado, creado como consecuencia de las explotaciones de carbón a cielo abierto que la antigua Sociedad Minera San Luis poseía en la zona a finales de los años 80 (Narganes 2010). Dicho hueco minero fue restaurado en 1990 mediante el rellenado con estériles de carbón procedente de otras explotaciones cercanas, posterior recubrimiento con tierra vegetal, enmendado con estiércol de vacuno e hidrosebrado con una mezcla comercial de gramíneas y leguminosas herbáceas (para más detalles sobre la restauración, ver Milder *et al.* 2013).

El bosque más representativo en los alrededores es el de *Quercus pyrenaica* (Oria de Rueda *et al.* 1996), sin embargo, en las proximidades de la zona de estudio predominan los bosques de *Quercus petraea* (roble albar) uno de los bosques españoles más amenazados (ver Milder *et al.* 2013; Torroba-Balmori *et al.* 2015), que cuentan con un valor ecológico y paisajístico excepcional; de ahí la necesidad de su conservación y aprovechamiento racional (Oria de Rueda *et al.* 1996).

Los suelos más extendidos entorno al área de estudio pertenecen al orden de los Inceptisoles, suborden Haplumbrept (Junta de Castilla y León 1988); son suelos poco evolucionados propios de laderas, desarrollados bajo bosques (Ministerio de Agricultura 1979). En particular, los suelos del bosque que rodea la mina restaurada elegida como zona de estudio tiene una profundidad efectiva de unos 40 cm sobre la roca madre que es roca metamórfica ácida, concretamente pizarras del Carbonífero (IGME 1982). Presenta un régimen de humedad údico y de temperatura méxico; el tipo de suelo es Typic Dystroudept (Soil Survey Staff 2010). Los suelos de la mina tienen una profundidad efectiva de unos 10 cm, presentan un régimen de humedad údico y de temperatura méxico y se corresponden con el tipo de suelo Lithic Ustorthents (Soil Survey Staff 2010). Además, es interesante destacar la gran heterogeneidad edáfica que se da dentro de los suelos de la mina (Milder *et al.* 2013), encontrándose grandes diferencias en función del tipo de comunidad vegetal que

sobre ellos se asienta; particularmente entre suelos de comunidades de matorral y de pastizal (ver López-Marcos 2012).

Recogida de bellotas y suelo, y posterior manipulación

La recolección de bellotas de *Quercus petraea* tuvo lugar el 24 de octubre de 2014, en una zona bajo arbolado de roble albar, en el borde sur de la mina restaurada. La recolección de bellotas de *Quercus pyrenaica* se realizó el 21 de noviembre de 2014, en una zona situada aproximadamente 1,5 km al noroeste de la anterior ubicación, junto al denominado Corral del Sestil. La elección de los puntos de recolección se determinó por la existencia de masas forestales puras de ambas especies, asegurando que las bellotas recogidas correspondían a la especie deseada y no se mezclaban entre sí.

En cuanto a la recogida de las muestras de suelo, se realizó también el 21 de noviembre de 2014, en tres ambientes diferentes: pastizal, matorral y bosque. Para ello, se procedió a excavar en distintos puntos de la mina restaurada recogiendo la capa superficial del suelo en la zona de pastizal, bajo los matorrales de *Cytisus scoparius* y *Genista florida*, y en el robledal adyacente a la mina. El suelo procedente de cada ambiente se almacenó en un contenedor diferente de unos 30 litros de capacidad. Se procuró evitar recoger estériles de la escombrera, así como restos vegetales de gran tamaño para facilitar el posterior manejo y preparación del suelo en el laboratorio.

Una vez llevado el material al laboratorio, las bellotas se metieron en el frigorífico, manteniéndose a una temperatura de entre 4 y 5 °C hasta el inicio del experimento. Las muestras de suelo se extendieron sobre papel de filtro para favorecer su secado a temperatura ambiente, a la vez que se seleccionaban y retiraban la mayor parte de los restos vegetales, piedras y estériles de carbón que todavía contenían. El suelo procedente de cada ambiente se colocó en una zona distinta del laboratorio para evitar contaminaciones. Una vez que el suelo estuvo seco, se volvió a colocar en su correspondiente contenedor, para mezclarlo más fácilmente, y se tomaron tres submuestras de cada contenedor, de 0,5 kg cada una aproximadamente, para su posterior análisis en laboratorio.

Los análisis edáficos fueron realizados por personal del Centro Tecnológico Agrario y Alimentario (ITAGRA.CT), tras secar las muestras edáficas al aire y cribarlas (≤ 2 mm). La textura (% de arena, arcilla y limo) se analizó por el método del densímetro de Bouyoucos (Day 1965), la materia orgánica oxidable (MOX) por el método de Volumetría Redox (PNT-S-05), el pH por potenciometría (PNT-S-01) a 20,6 °C en una suspensión 1:2,5 de agua desionizada, la conductividad eléctrica (CE) usando un conductímetro en una suspensión 1:2,5 de agua desionizada (Allen 1989), el nitrógeno total mediante el método Kjeldahl modificado (Bremner y Mulvaney 1982), el fósforo (P) asimilable por el método Olsen (PNT-

S-04; Olsen y Sommers 1982), el potasio asimilable (K^+) por emisión atómica (PNT-S-07), y la concentración de los cationes de cambio (Ca^{2+} , y Mg^{2+}) mediante absorción atómica (PNT-S-06) y del Na^+ por emisión atómica.

Diseño experimental de laboratorio

La puesta en marcha del experimento tuvo lugar el día 2 de diciembre de 2014, cuando se colocaron las bellotas en las bandejas para germinar.

En primer lugar, se seleccionaron más de 150 unidades de cada una de las dos especies dentro del conjunto de bellotas recogidas, escogiendo aquellas bellotas que a simple vista no mostraban signos de deterioro (p.e. no atacadas por curculiónidos, enteras y cerradas) y que correspondieran a los tamaños más extremos, tanto las más grandes como las más pequeñas, teniendo en cuenta, además, que su forma fuera más o menos homogénea. Todas ellas se sometieron a una sencilla prueba de flotabilidad, introduciendo las bellotas en un recipiente lleno de agua, con el fin de descartar aquellas que flotaban y que por ello podían resultar inviables. Al final, se seleccionaron un total de 150 bellotas de cada especie, siendo la mitad de ellas de tamaño grande y la otra mitad de tamaño pequeño.

Acto seguido se prepararon 6 bandejas de cultivo de 50 alveolos cada una, donde posteriormente se pondrían a germinar las bellotas. Los alveolos se rellenaron con las muestras de los distintos suelos recogidas (pastizal, matorral y bosque), utilizando dos bandejas para cada tipo de suelo, una de las cuales iría destinada a las bellotas de *Quercus pyrenaica* y la otra a las de *Quercus petraea*. Cada bandeja fue a su vez dividida en dos zonas iguales de 25 alveolos cada una, trazando una banda por la parte central, para así diferenciar por un lado los alveolos que irían dedicados a las bellotas de mayor tamaño y por otro los de las bellotas más pequeñas.

Antes de proceder con la siembra, cada bellota fue pesada en una báscula digital digital "Sartorius Extend" (Error: $\pm 0,01$ g) para determinar su peso húmedo. Además se tomaron medidas de la longitud y anchura del eje mayor de cada una de ellas, utilizando un calibre digital. Los datos de cada bellota se fueron registrando en plantillas, numerando las bellotas de la nº 1 a la nº 25, junto con la información de tamaño, especie y el tipo de suelo en el que fueron sembradas. Una vez medidas y pesadas, las bellotas se fueron colocando en los alveolos de las bandejas con la distribución anteriormente mencionada: una bandeja para cada especie (*Q. pyrenaica* y *Q. petraea*) y tipo de suelo (pastizal, matorral y bosque). Dentro de cada bandeja se asignó la mitad de los alveolos (25 alveolos) a las bellotas más grandes y la otra mitad a las pequeñas.

Las bellotas se colocaron superficialmente para facilitar el posterior seguimiento de la germinación y emergencia. Tras su colocación, se efectuó un primer riego a saturación, seguido de otro a los tres días, dada la escasez de humedad en la tierra al inicio del

experimento, después de haber dejado secar los suelos a temperatura ambiente. Los posteriores riegos se realizaron periódicamente con una frecuencia aproximada de una vez por semana, y utilizando 20 ml de agua reposada para cada alveolo.

El experimento tuvo una duración de 141 días, desde el 2 de diciembre de 2014 hasta el 22 de abril de 2015, fecha en la que se descalzaron las plantas. Durante este periodo se revisó regularmente la germinación y emergencia de plántulas cada 3 a 10 días, correspondiendo las revisiones más frecuentes a los primeros 2-3 meses, cuando la actividad germinativa y de emergencia era mayor. En el caso de la germinación, la revisión consistió en desenterrar cuidadosamente las bellotas hasta detectar los primeros indicios de crecimiento de la radícula, mientras que la emergencia se basó en la detección del desarrollo incipiente de la plántula. También se tomaron medidas sobre altura y diámetro del tallo en la base en los primeros días tras la emergencia.

El 22 de abril, se procedió a la extracción de las plantas. Con el fin de evitar que la raíz se rompiera durante el proceso, se facilitó la extracción empujando la tierra desde la parte inferior del alveolo. Después, se retiró la tierra asociada a las raíces agitándolas y lavándolas bajo agua del grifo, para eliminar la mayor cantidad posible de partículas. En los días siguientes se midió la longitud de la parte aérea y de la subterránea, junto con los diámetros de la parte inferior del tallo y del cuello de la raíz. Finalmente, las plantas se introdujeron en la estufa de aire forzado dentro de sobres de papel individuales, a una temperatura de 80°C durante 24 horas, para proceder a su secado, tras el cual se obtuvo el peso seco de la biomasa aérea y subterránea, descartando los cotiledones.

Tratamiento de los datos

Las diferencias entre los tipos de suelo, para los parámetros edáficos analizados, se contrastaron mediante el ANOVA de una vía, para aquellas variables que cumplían las asunciones de normalidad y homocedasticidad, y del test de Kruskal-Wallis para los datos que no cumplían dichas asunciones. Para los contrastes a posteriori se emplearon, respectivamente, el test de Tukey y la 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).

Para la comparación del peso y las dimensiones de las bellotas experimentales en función de la especie y el tamaño se emplearon los test de la t de Student o el de la U de Mann-Whitney según se cumplieran o no las asunciones de normalidad y homocedasticidad. Para la comparación de dichas variables entre las bellotas sembradas en los diferentes tipos de suelo, se empleó el ANOVA de una vía o el test de Kruskal-Wallis seguidos de los contrastes a posteriori correspondientes, según fueran los datos.

Los porcentajes finales de germinación se calcularon como el número de bellotas que germinan respecto a las 25 sembradas, para cada combinación de especie, tamaño y suelo,

multiplicado por 100 $((n^{\circ} \text{ bellotas que germinan}/25) \times 100)$. Los porcentajes finales de emergencia se calcularon como número de plántulas emergidas respecto a las bellotas germinadas, multiplicado por 100. Se utilizó el test de independencia de los caracteres de la Chi-cuadrado (χ^2) para comparar los porcentajes finales de germinación de las bellotas y de emergencia de las plántulas de cada especie de *Quercus*, en función del tamaño y del tipo de suelo. La comparación entre especies se analizó mediante contrastes de hipótesis de igualdad de medias, haciendo uso de la estadística paramétrica, pues se cumplían las asunciones de normalidad y homocedasticidad. Se utilizó el test de la t-Student para la comparación entre especies, independientemente del tamaño de la bellota y del tipo de suelo, y el ANOVA factorial para detectar posibles interacciones (especie x tamaño) haciendo uso del test de Tukey para los contrastes a posteriori.

La duración de los periodos de germinación y emergencia se calcularon como el número de días transcurridos desde que germina la primera bellota o emerge la primera plántula hasta que lo hace la última, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, es decir para cada grupo de 25 bellotas. Para comparar la duración del periodo de germinación entre especies, independientemente del tamaño de la bellota y del tipo de suelo, se usó el test de la t-Student, y para detectar posibles interacciones (especie x tamaño) se empleó el ANOVA factorial haciendo uso del test de Tukey para los contrastes a posteriori.

En todos los casos, para la verificación de los supuestos de normalidad y homocedasticidad se utilizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente (Guisande *et al.* 2011).

La velocidad de la germinación y de emergencia para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo se calculó de dos maneras: 1) como el número de días al cabo de los cuales germinan el 50% de las bellotas o emergen el 50% de las plántulas (T_{50}), y 2) como el número medio de días que tardan en germinar las bellotas o en emerger las plántulas, a contar en ambos casos desde la siembra. En el primer caso, para hacer las comparaciones se procedió igual que para la duración del periodo de germinación. En el segundo caso se emplearon los análisis GLM (siglas en inglés de modelos lineales generalizados) aplicados por un lado a los datos de *Q. pyrenaica* y por otro a los de *Q. petraea*, así como considerando conjuntamente los datos de las dos especies, y se realizaron las regresiones lineales entre el peso de la bellota (g) y la velocidad de germinación o la velocidad de emergencia, para ambas especies por separado y consideradas conjuntamente.

Para analizar los datos de crecimiento (biomasa aérea, subterránea y total de las plántulas emergidas) se emplearon los análisis GLM aplicados por un lado, a los datos de *Q. pyrenaica* y por otro, a los de *Q. petraea*. Posteriormente se realizaron las regresiones

lineales correspondientes entre el peso de la bellota y las biomásas aérea, subterránea y total.

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.Rproject.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

Características de los suelos

No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, entre los suelos de los tres ambientes, para ninguna de las tres variables físicas analizadas (Tabla 1). Es decir, los suelos seleccionados no difieren en el contenido de arena, limo y arcilla. Sin embargo, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, entre los suelos de los tres ambientes, para la mayoría de las variables químicas analizadas (Tabla 1). Los valores de pH son más altos en los suelos bajo matorral que en los suelos del pastizal o el bosque, entre los que no se han encontrado diferencias significativas. Los valores de N total y MO, sin embargo, son más bajos bajo matorral y similares entre los suelos del bosque y del pastizal. Los valores de calcio y magnesio son más altos en los suelos del bosque, no encontrándose diferencias entre los suelos del pastizal y bajo matorral. El potasio alcanza valores más altos en los suelos del bosque, y menores en los del pastizal, ocupando los suelos bajo matorral una posición intermedia. Finalmente, el fósforo también alcanza mayores valores en los suelos del bosque, pero los valores más bajos se dan bajo matorral, ocupando los suelos del pastizal una posición intermedia.

Tabla 1. Valor medio y error estándar (ES) de cada variable edáfica en cada ambiente (Matorral, Pastizal y Bosque). Las diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas entre ambientes para cada variable edáfica, utilizando Kruskal-Wallis para la conductividad, arena, limo, P, y K; y Anova de una vía para pH, arcilla, M.O., Ca, Mg, Na y N total.

Variable	Tipo de ambiente			Estadígrafo	p
	Matorral	Pastizal	Bosque		
pH	5,82±0,16 a	5,40±0,01 b	5,46±0,04 b	5,44	0,045
Conduct.(mS.cm ⁻¹)	0,30±0,11 a	0,17±0,00 a	0,33±0,01 a	3,25	0,197
Arena (%)	62,55±5,17 a	51,49±4,70 a	49,49±0,67 a	4,66	0,097
Limo (%)	18,23±1,20 a	25,61±6,36 a	18,28±0,58 a	2,04	0,361
Arcilla (%)	19,23±6,33 a	22,89±8,99 a	32,23±0,88 a	1,11	0,390
M.O. _{oxid} (g.100g ⁻¹)	6,48±0,66 a	9,87±0,54 b	11,40±0,19 b	24,96	0,001
P _{asim} (mg.kg ⁻¹)	4,67±0,09 a	10,57±0,12 b	22,70±1,80 c	7,20	0,027
K _{asim} (mg.kg ⁻¹)	189,00±1,00 a	119,67±2,96 b	511,67±28,37 c	7,26	0,027
Ca _{asim} (meq.100g ⁻¹)	11,13±1,34 a	14,20±0,38 a	20,23±0,49 b	29,56	0,001
Mg _{asim} (meq.100g ⁻¹)	1,90±0,08 a	1,89±0,05 a	3,51±0,05 b	232,48	<0,001
Na _{asim} (meq.100g ⁻¹)	0,13±0,02 a	0,14±0,01 a	0,17±0,01 a	2,10	0,204
N _{total} (g.100g ⁻¹)	0,43±0,03 a	0,71±0,02 b	0,60±0,04 b	20,55	0,002

Dimensiones y peso de las bellotas experimentales

Quercus petraea

En el caso de *Quercus petraea*, las bellotas consideradas grandes y pequeñas difieren significativamente en peso, longitud y anchura, tanto para el conjunto de los datos como para cada tipo de suelo (Tabla 2). Sin embargo, no hay diferencias en tamaño (peso, anchura y longitud) entre las bellotas consideradas grandes, ni tampoco entre las consideradas pequeñas, en función del tipo de suelo.

Es decir, existe bastante homogeneidad en el peso y dimensiones (anchura y longitud) entre las bellotas consideradas grandes, así como entre las bellotas consideradas pequeñas, independientemente del tipo de suelo. Simplemente hay diferencias en peso y dimensiones entre las bellotas consideradas grandes y pequeñas siempre, tanto para el conjunto de los datos como diferenciando tipos de suelo.

Tabla 2. Valor medio \pm error estándar del peso, longitud y anchura de las bellotas de *Q. petraea* consideradas grandes y pequeñas para el conjunto de los datos y diferenciando tipos de suelo.

Peso (g)	Grandes	Pequeñas	Estadígrafo	P-valor
Total	5,05 \pm 0,10	1,97 \pm 0,06	U Mann Whitney	***
Pastizal	5,27 \pm 0,15	1,95 \pm 0,11	t-Student	***
Matorral	5,11 \pm 0,22	1,99 \pm 0,09	U Mann Whitney	***
Bosque	4,78 \pm 0,14	1,97 \pm 0,10	t-Student	***
Longitud (mm)				
Total	26,84 \pm 0,23	21,03 \pm 0,19	U Mann Whitney	***
Pastizal	26,92 \pm 0,39	21,03 \pm 0,37	t-Student	***
Matorral	27,07 \pm 0,42	20,91 \pm 0,35	t-Student	***
Bosque	26,53 \pm 0,42	21,16 \pm 0,25	U Mann Whitney	***
Anchura (mm)				
Total	17,75 \pm 0,16	12,76 \pm 0,16	t-Student	***
Pastizal	18,20 \pm 0,30	12,48 \pm 0,30	t-Student	***
Matorral	17,55 \pm 0,30	12,95 \pm 0,24	t-Student	***
Bosque	17,51 \pm 0,23	12,83 \pm 0,29	t-Student	***

*** $p < 0,001$.

Quercus pyrenaica

En el caso de *Q. pyrenaica*, las bellotas consideradas grandes y pequeñas difieren significativamente en peso, longitud y anchura, tanto para el conjunto de los datos como para cada tipo de suelo (Tabla 3), igual que sucedía con las bellotas de *Q. petraea*. No obstante, entre las bellotas consideradas grandes el peso y la anchura difieren entre tipos de suelo (test de Kruskal-Wallis; peso: $H_{[2,75]}=40,17$; $p < 0,001$ y anchura: $H_{[2,75]}=19,79$; $p < 0,001$),

así como la longitud de las bellotas consideradas pequeñas (Anova de una vía; $F_{[2,72]}=3,50$ $p=0,035$)

Tabla 3. Valor medio \pm error estándar del peso, longitud y anchura de las bellotas de *Q. pyrenaica* consideradas grandes y pequeñas para el conjunto de los datos y diferenciando tipos de suelo. Diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre tipos de suelo, dentro de cada tamaño de bellota, mediante el test de Kruskal-Wallis en el caso de las bellotas grandes y mediante un Anova de una vía en el caso de las bellotas pequeñas.

Peso (g)	Grandes	Pequeñas	Estadígrafo	P-valor
Total	4,73 \pm 0,09	1,78 \pm 0,04	U Mann Whitney	***
Pastizal	5,39 \pm 0,11a	1,88 \pm 0,09	U Mann Whitney	***
Matorral	4,72 \pm 0,17b	1,64 \pm 0,06	U Mann Whitney	***
Bosque	4,09 \pm 0,07c	1,82 \pm 0,07	t-Student	***
Longitud (mm)				
Total	29,32 \pm 0,25	21,09 \pm 0,21	t-Student	***
Pastizal	30,01 \pm 0,51	21,36 \pm 0,39a	U Mann Whitney	***
Matorral	29,31 \pm 0,38	20,33 \pm 0,34b	t-Student	***
Bosque	28,60 \pm 0,39	21,58 \pm 0,34a	t-Student	***
Anchura (mm)				
Total	16,51 \pm 0,17	12,08 \pm 0,14	U Mann Whitney	***
Pastizal	17,34 \pm 0,25a	12,44 \pm 0,27	t-Student	***
Matorral	16,57 \pm 0,31ab	11,74 \pm 0,22	U Mann Whitney	***
Bosque	15,61 \pm 0,18b	12,08 \pm 0,25	U Mann Whitney	***

*** $p<0,001$.

Q. petraea vs. *Q. pyrenaica*

Considerando conjuntamente las bellotas de las dos especies del género *Quercus*, el peso medio de las bellotas consideradas pequeñas es de 1,72 \pm 0,04 g y el de las bellotas consideradas grandes de 4,89 \pm 0,07 g, siendo la diferencia estadísticamente significativa (U de Mann-Whitney: $U = -14,98$; $p<0,001$). La longitud de las bellotas consideradas pequeñas es de 21,06 \pm 0,14 mm y el de las bellotas consideradas grandes de 28,07 \pm 0,20 mm, siendo también la diferencia estadísticamente significativa (U de Mann-Whitney: $U = -14,81$; $p<0,001$). Finalmente, la anchura de las bellotas consideradas pequeñas es de 12,42 \pm 0,11 mm y el de las bellotas consideradas grandes de 17,13 \pm 0,13 mm, siendo también la diferencia estadísticamente significativa (t de Student: $t = -28,07$; $p<0,001$).

Para las bellotas grandes existen diferencias significativas entre ambas especies de *Quercus*, en peso (Q_{pe} : 5,05 \pm 0,10 g vs. Q_{py} : 4,73 \pm 0,09 g; $t = -2,30$, $p=0,023$), anchura (Q_{pe} : 17,75 \pm 0,16 mm vs. Q_{py} : 16,51 \pm 0,17 mm; $t = -5,38$, $p<0,001$) y longitud (Q_{pe} : 26,84 \pm 0,23 mm vs. Q_{py} : 29,31 \pm 0,25 mm; $t = 7,14$, $p<0,001$). Para las bellotas pequeñas existen diferencias significativas entre ambas especies de *Quercus* en peso (Q_{pe} : 1,97 \pm 0,06 g vs. Q_{py} : 1,78 \pm 0,04 g; $t = -2,59$, $p=0,010$) y anchura (Q_{pe} : 12,76 \pm 0,16 mm vs. Q_{py} : 12,08 \pm 0,14 mm; $t =$

-3,14, $p=0,002$), pero no longitud (Qpe: $21,03\pm 0,19$ mm vs. Qpy: $21,09\pm 0,21$ mm; $t= 0,20$, $p=0,839$).

Únicamente para las bellotas sembradas en los suelos del bosque, existen diferencias significativas entre las bellotas consideradas grandes de ambas especies, siendo más pesadas y anchas, pero más cortas las bellotas de *Q. petraea* frente a las de *Q. pyrenaica* (Tabla 4). Para las bellotas grandes sembradas en los suelos del pastizal y el matorral, no se encuentran diferencias significativas en peso, pero siguen siendo significativamente más anchas y más cortas las de *Q. petraea* vs. *Q. pyrenaica*.

Para las bellotas consideradas pequeñas, únicamente las que son sembradas en los suelos recogidos bajo matorral difieren significativamente en peso y anchura entre ambas especies, siendo más pesadas y anchas las de *Q. petraea* (Tabla 4).

Tabla 4. Valor medio \pm error estándar del peso, longitud y anchura de las bellotas de *Q. petraea* y *Q. pyrenaica* para cada combinación de tipo de suelo y tamaño de bellota.

Grandes-Pastizal	<i>Q. petraea</i>	<i>Q. pyrenaica</i>	Estadístico	P-valor
Peso (g)	5,27 \pm 0,15	5,39 \pm 0,11	t-Student	N.S.
Longitud	26,92 \pm 0,39	30,01 \pm 0,51	U Mann Whitney	***
Anchura (mm)	18,20 \pm 0,30	17,34 \pm 0,25	t-Student	*
Grandes-Matorral				
Peso (g)	5,11 \pm 0,22	4,72 \pm 0,17	U Mann Whitney	N.S.
Longitud	27,07 \pm 0,42	29,31 \pm 0,38	t-Student	***
Anchura (mm)	17,55 \pm 0,30	16,57 \pm 0,31	t-Student	*
Grandes-Bosque				
Peso (g)	4,78 \pm 0,14	4,09 \pm 0,07	U Mann Whitney	***
Longitud	26,53 \pm 0,42	28,60 \pm 0,39	t-Student	***
Anchura (mm)	17,51 \pm 0,23	15,61 \pm 0,18	t-Student	***
Pequeñas-Pastizal				
Peso (g)	1,95 \pm 0,11	1,88 \pm 0,09	t-Student	N.S.
Longitud	21,03 \pm 0,37	21,36 \pm 0,39	t-Student	N.S.
Anchura (mm)	12,48 \pm 0,30	12,44 \pm 0,27	t-Student	N.S.
Pequeñas-Matorral				
Peso (g)	1,99 \pm 0,09	1,64 \pm 0,06	t-Student	*
Longitud	20,91 \pm 0,35	20,33 \pm 0,34	t-Student	N.S.
Anchura (mm)	12,95 \pm 0,24	11,74 \pm 0,22	t-Student	***
Pequeñas-Bosque				
Peso (g)	1,97 \pm 0,10	1,82 \pm 0,07	U Mann Whitney	N.S.
Longitud	21,16 \pm 0,25	21,58 \pm 0,34	t-Student	N.S.
Anchura (mm)	12,83 \pm 0,29	12,08 \pm 0,25	U Mann Whitney	N.S.

N.S. no significativo; * $p<0,05$; ** $p<0,01$ y *** $p<0,001$.

Germinación (porcentaje, duración del periodo y velocidad)

Porcentaje de germinación

En la Figura 1 se recogen los porcentajes acumulados de germinación a lo largo del periodo de estudio, para las diferentes combinaciones de tamaño de la bellota (grande, pequeño) y tipo de suelo (pastizal, matorral, bosque), para cada especie (*Q. pyrenaica* y *Q. petraea*).

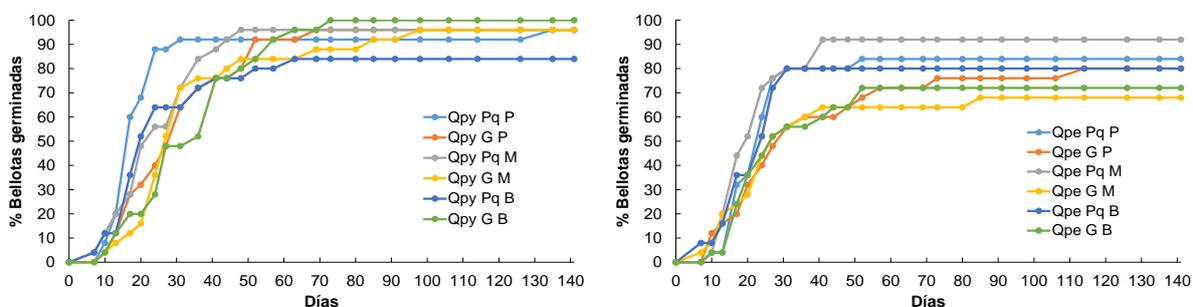


Figura 1. Porcentaje acumulado de germinación de bellotas de (a) *Quercus pyrenaica* (Qpy) y (b) *Q. petraea* (Qpe), a lo largo del periodo de estudio (141 días), en función del tamaño de la bellota (G= grande, Pq= pequeño) y del tipo de suelo en el que fueron sembradas (P= pastizal, M= matorral y B= bosque).

Al comparar los porcentajes finales de germinación en función del tamaño de la bellota y del tipo de suelo, no se encuentra dependencia entre ambas variables, ni para *Q. pyrenaica* (Tabla 5; $X^2= 0,94$; $p=0,625$), ni para *Q. petraea* (Tabla 6; $X^2= 1,40$; $p=0,497$) consideradas separadamente. Esto significa que los porcentajes finales de germinación de las bellotas grandes y pequeñas de cada especie de *Quercus* no dependen del tipo de suelo en el que se pongan a germinar.

Tabla 5. Porcentajes finales de germinación de bellotas de *Q. pyrenaica* en función del tamaño de la bellota (grandes, pequeñas) y del tipo de suelo (pastizal, matorral, bosque).

<i>Q. pyrenaica</i>	Grandes	Pequeñas
Pastizal	96	96
Matorral	96	96
Bosque	100	84

Tabla 6. Porcentajes finales de germinación de bellotas de *Q. petraea* en función del tamaño de la bellota (grandes, pequeñas) y del tipo de suelo (pastizal, matorral, bosque).

<i>Q. petraea</i>	Grandes	Pequeñas
Pastizal	80	84
Matorral	68	92
Bosque	72	80

No obstante, existen diferencias significativas entre especies (t -Student= 3,70; $p=0,004$), siendo mayor el porcentaje medio ($n=6$) de germinación de las bellotas de *Q. pyrenaica* (94,7%) que de *Q. petraea* (79,3%), como ya sugería la figura 1. Además, se ha detectado interacción significativa especie x tamaño ($F_{[1,8]}= 7,04$; $p=0,029$), lo que significa que solo para las bellotas consideradas grandes existen diferencias entre especies en el porcentaje final de germinación, siendo menor para *Q. petraea*. Además, el porcentaje de germinación

de las bellotas grandes de *Q. petraea* es significativamente menor que el de las bellotas tanto grandes como pequeñas de *Q. pyrenaica* (Tabla 7).

Tabla 7. Porcentajes medios (n=3) finales de germinación de bellotas grandes y pequeñas de *Q. pyrenaica* y *Q. petraea*.

	Grandes	Pequeñas
<i>Q. pyrenaica</i>	97,3	92,0
<i>Q. petraea</i>	73,3	85,3

Duración del periodo de germinación

Aunque parece observarse una tendencia a que la duración del periodo de germinación sea menor en bellotas pequeñas que en grandes (Tabla 8), es decir, que la germinación de las bellotas pequeñas es más concentrada en el tiempo que la de bellotas grandes, únicamente para *Q. petraea* se encuentran diferencias probablemente significativas en la duración media del periodo de germinación entre bellotas grandes y pequeñas (G: $74,7 \pm 18,0$; Pq: $32,3 \pm 5,2$; t-Student= $-2,26$ $p=0,087$). Aunque la duración media del periodo de germinación es mayor para *Q. pyrenaica* ($72,0 \pm 12,3$ días) que para *Q. petraea* ($53,85 \pm 12,5$ días), dicha diferencia tampoco es estadísticamente significativa (U de Mann-Whitney = 11,00; $p=0,262$), es decir, no parece que la germinación de bellotas de *Q. petraea* sea más concentrada en el tiempo que la de bellotas de *Q. pyrenaica*.

Tabla 8. Duración del periodo de germinación calculada como el número de días transcurridos desde que germina la primera bellota hasta que lo hace la última, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, es decir para cada grupo de 25 bellotas.

Especie	Suelo	Tamaño	Duración (días)
<i>Q. pyrenaica</i>	Pastizal	Pequeñas	125
		Grandes	59
	Matorral	Pequeñas	41
		Grandes	88
	Bosque	Pequeñas	56
		Grandes	63
<i>Q. petraea</i>	Pastizal	Pequeñas	42
		Grandes	104
	Matorral	Pequeñas	31
		Grandes	78
	Bosque	Pequeñas	24
		Grandes	42

Velocidad de la germinación

La velocidad de germinación calculada como T_{50} , para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, se recoge en la Tabla 9. Se observa que el número de días necesarios para que germinen el 50% de las bellotas pequeñas es significativamente menor que el necesario para que germinen en 50% de las bellotas grandes (G: $25,4 \pm 2,0$; Pq: $18,9 \pm 0,8$; t-Student= $-3,01$ $p=0,013$), es decir, germinan más rápido las bellotas pequeñas. Ahora bien, se ha detectado interacción *especie x tamaño* ($F_{[1,8]}=8,75$; $p=0,018$), lo que significa que sólo en el caso de *Q. pyrenaica* la velocidad de germinación de las bellotas pequeñas es significativamente mayor que la de las grandes (G: $28,9 \pm 2,3$; Pq: $18,0 \pm 1,2$; t-Student= $-4,20$ $p=0,014$). De hecho, el número de días para alcanzar el 50% de la germinación es mayor en las bellotas grandes de *Q. pyrenaica* que en las pequeñas de esa especie y que en las bellotas de *Q. petraea*, tanto pequeñas como grandes (Qpe; G: $21,8 \pm 1,2$; Pq: $19,4 \pm 1,1$).

Tabla 9. Velocidad de germinación calculada como el número de días al cabo de los cuales germinan el 50% de las bellotas, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, es decir para cada grupo de 25 bellotas.

Especie	Suelo	Tamaño	Velocidad (días) T_{50}
<i>Q. pyrenaica</i>	Pastizal	Pequeñas	15,8
		Grandes	27,0
	Matorral	Pequeñas	20,0
		Grandes	26,3
	Bosque	Pequeñas	18,1
		Grandes	33,5
<i>Q. petraea</i>	Pastizal	Pequeñas	21,0
		Grandes	24,0
	Matorral	Pequeñas	17,8
		Grandes	21,5
	Bosque	Pequeñas	21,0
		Grandes	20,0

Si se calcula la velocidad de germinación como el número medio de días que tardan en germinar las bellotas, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo (Tabla 10), se observa un patrón algo diferente que el descrito para el T_{50} . Ahora, el resultado de los análisis GLM aplicados, por un lado a las bellotas de *Q. pyrenaica* y por otro a las de *Q. petraea*, indican que sólo el tamaño de la bellota (G, Pq) afecta de manera significativa a su velocidad de germinación en ambas especies (Qpy: $F_{[1,136]}=9,75$ $p=0,002$; Qpe: $F_{[1,136]}=5,74$; $p=0,018$), siendo mayor la velocidad de germinación para bellotas pequeñas y no existiendo una interacción significativa entre tamaño y el tipo de suelo en el

que fueron sembradas. Además, al considerar conjuntamente los datos de velocidad de germinación de ambas especies, el GLM solo encuentra influencia significativa del tamaño de la bellota ($F_{[1,249]}=14,86$; $p<0,001$).

Tabla 10. Velocidad de germinación calculada como el número medio de días que tardan en germinar las bellotas, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, es decir para cada grupo de 25 bellotas.

Especie	Suelo	Tamaño	Días hasta la germinación
<i>Q. pyrenaica</i>	Pastizal	Pequeñas	23,1±5,0
		Grandes	30,7±3,1
	Matorral	Pequeñas	25,0±2,3
		Grandes	34,3±4,4
	Bosque	Pequeñas	24,2±3,1
		Grandes	35,4±3,3
<i>Q. petraea</i>	Pastizal	Pequeñas	23,0±1,8
		Grandes	33,2±5,7
	Matorral	Pequeñas	22,0±1,9
		Grandes	25,6±4,3
	Bosque	Pequeñas	20,9±1,6
		Grandes	26,5±3,0

La Figura 2 muestra la relación entre el peso de las bellotas y su velocidad de germinación para cada especie, mientras que la Figura 3 muestra la misma relación para el conjunto de los datos sin diferenciar especies. Se observa, en todos los casos, una relación positiva y significativa entre el peso de las bellotas y su velocidad de germinación, es decir, que a mayor peso de la bellota más tarda en germinar. Sin embargo, la pendiente de la recta es ligeramente mayor en el caso de *Q. pyrenaica*, lo que significa que en esta especie el incremento de peso de la bellota influye más en la velocidad de germinación.

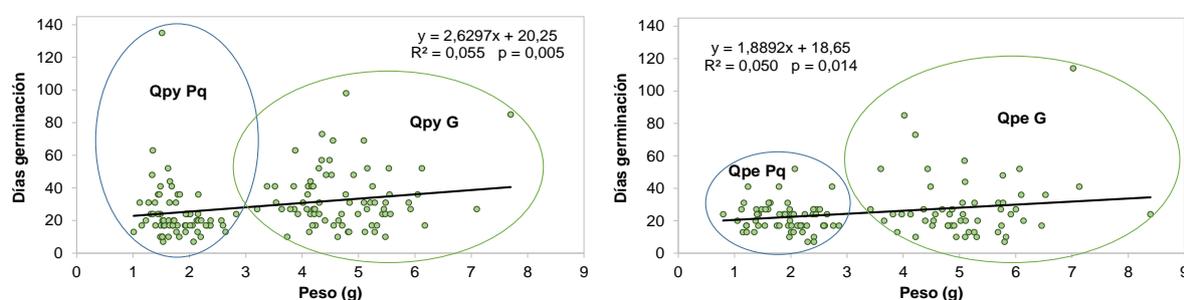


Figura 2. Tiempo (en días) que tarda en germinar cada bellota de: **(a)** *Q. pyrenaica* y **(b)** *Q. petraea*, en relación con su peso (g). Ecuaciones de las dos rectas, sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y la significación estadística de las correlaciones.

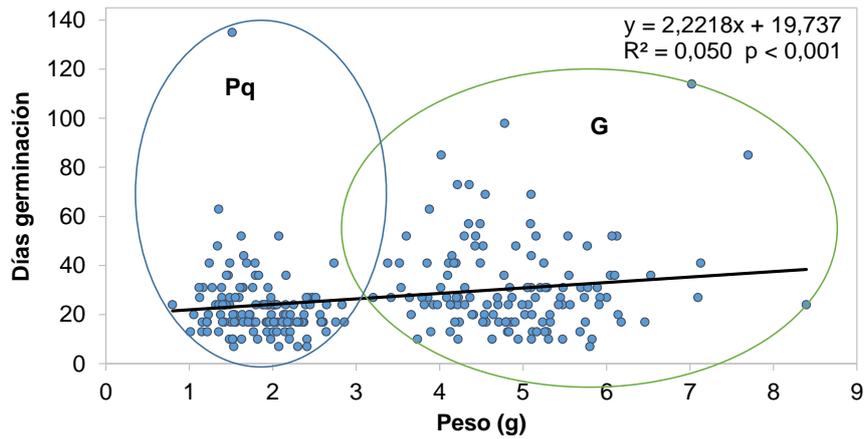


Figura 3. Tiempo (en días) que tarda en germinar cada bellota en relación con su peso (g), independientemente de la especie de *Quercus* de que se trate. Ecuación de la recta de regresión lineal, valor del coeficiente de determinación (R^2) y significación de la correlación.

Emergencia desde la siembra (porcentaje, duración del periodo y velocidad)

Porcentaje de emergencia

En la Figura 4 se recogen los porcentajes acumulados de emergencia de plántulas respecto a las bellotas germinadas, a lo largo del periodo de estudio, para las diferentes combinaciones de tamaño de la bellota (grande, pequeño) y tipo de suelo (pastizal, matorral, bosque), para cada especie (*Q. pyrenaica* y *Q. petraea*).

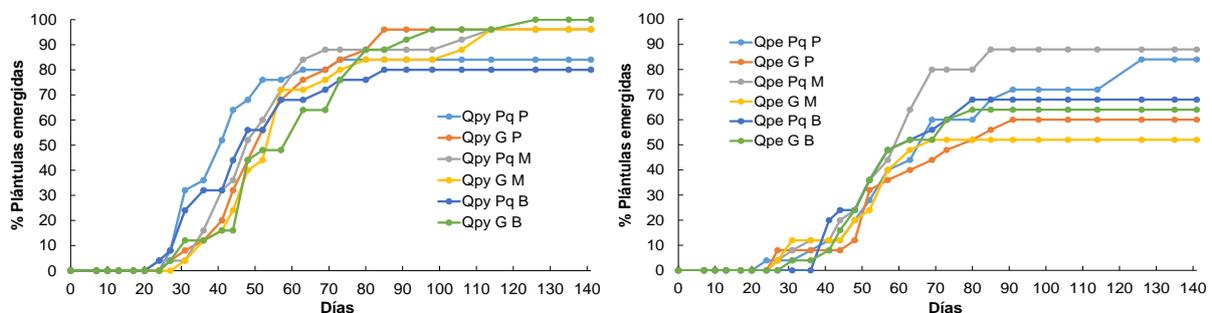


Figura 4. Porcentaje acumulado de plántulas emergidas de (a) *Quercus pyrenaica* (Qpy) y (b) *Q. petraea* (Qpe), a lo largo del periodo de estudio (141 días), en función del tamaño de la bellota (G= grande, Pq= pequeño) y del tipo de suelo en el que fueron sembradas (P= pastizal, M= matorral y B= bosque).

Al comparar los porcentajes finales de emergencia en función del tamaño de la bellota y del tipo de suelo, no se encuentra dependencia entre ambas variables, ni para *Q. pyrenaica* (Tabla 11; $X^2= 0,44$; $p=0,803$), ni para *Q. petraea* (Tabla 12; $X^2= 2,70$; $p=0,260$) consideradas separadamente, igual que sucedía con el porcentaje final de germinación. Esto significa que los porcentajes finales de emergencia de las bellotas grandes y pequeñas de cada especie de *Quercus* no dependen del tipo de suelo en el que se pongan a germinar.

Tabla 11. Porcentajes finales de emergencia de plántulas de *Q. pyrenaica* en función del tamaño de la bellota (grandes, pequeñas) y del tipo de suelo (pastizal, matorral, bosque).

<i>Q. pyrenaica</i>	Grandes	Pequeñas
Pastizal	96	96
Matorral	96	96
Bosque	100	84

Tabla 12. Porcentajes finales de emergencia de plántulas de *Q. petraea* en función del tamaño de la bellota (grandes, pequeñas) y del tipo de suelo (pastizal, matorral, bosque).

<i>Q. petraea</i>	Grandes	Pequeñas
Pastizal	80	84
Matorral	68	92
Bosque	72	80

No obstante, al igual que sucedía con el porcentaje final de germinación, existen diferencias significativas entre especies (t -Student= 2,24; $p=0,049$), siendo mayor el porcentaje medio ($n=6$) de emergencia de las plántulas de *Q. pyrenaica* (97,1%) que de *Q. petraea* (86,8%), como ya sugería la Figura 4. Además, también se ha detectado interacción significativa *especie x tamaño* ($F_{[1,8]}= 7,01$; $p=0,029$), lo que significa en este caso que solo para las bellotas grandes se encuentran diferencias entre especies en el porcentaje final de germinación, siendo mayor para *Q. pyrenaica* que para *Q. petraea* (Tabla 13).

Tabla 13. Porcentajes medios ($n=3$) finales de emergencia de plántulas a partir de bellotas grandes y pequeñas de *Q. pyrenaica* y *Q. petraea*.

	Grandes	Pequeñas
<i>Q. pyrenaica</i>	100,00	94,25
<i>Q. petraea</i>	80,12	93,55

Duración del periodo de emergencia

Aunque la duración media del periodo de emergencia (Tabla 14) es mayor para *Q. pyrenaica* ($72,8 \pm 8,5$ días) que para *Q. petraea* ($59,0 \pm 9,4$ días), dicha diferencia no es estadísticamente significativa (t -Student= 1,09; $p=0,301$), es decir, no parece que la emergencia de plántulas de *Q. petraea* sea más concentrada en el tiempo que la de *Q. pyrenaica*. Tampoco parecen observarse diferencias significativas en la duración del periodo de emergencia entre bellotas pequeñas y grandes (G: $65,8 \pm 8,8$; Pq: $66,0 \pm 10,1$; t -Student= 0,01 $p=0,990$), ni en función del tipo de suelo (P: $67,5 \pm 12,1$; M: $68,3 \pm 11,1$; B: $62,0 \pm 13,1$; $F_{[2,9]}= 0,08$ $p=0,925$), pero sí se encuentra interacción significativa *especie x suelo* ($F_{[2,6]}= 5,26$ $p=0,048$). Dicha interacción significa que la duración del periodo de emergencia de las plántulas de *Q. petraea* es significativamente menor que la de *Q. pyrenaica* tanto en el suelo de matorral como el de bosque, mientras que en el suelo de pastizal ocurre todo lo contrario, con una duración de la emergencia mayor para *Q. petraea* (Tabla 15); realmente sólo hay diferencias en la duración del periodo de emergencia de plántulas entre bellotas de *Q. pyrenaica* sembradas en suelo del matorral y de *Q. petraea* sembradas en suelo del bosque.

Tabla 14. Duración del periodo de emergencia calculada como el número de días transcurridos desde que emerge la primera plántula hasta que lo hace la última, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, es decir para cada grupo de 25 bellotas.

Especie	Suelo	Tamaño	Duración (días)
Q. pyrenaica	Pastizal	Pequeñas	46
		Grandes	58
	Matorral	Pequeñas	90
		Grandes	83
	Bosque	Pequeñas	61
		Grandes	99
Q. petraea	Pastizal	Pequeñas	102
		Grandes	64
	Matorral	Pequeñas	58
		Grandes	42
	Bosque	Pequeñas	39
		Grandes	49

Tabla 15. Valores medios (n=2) de duración de la emergencia (en días) de las plántulas de *Q. pyrenaica* y *Q. petraea* en cada tipo de suelo (pastizal, matorral y bosque).

	Q. pyrenaica	Q. petraea
Pastizal	52,0±6,0	83,0±19,0
Matorral	86,5±3,5	50,0±8,0
Bosque	80,0±19,0	44,0±5,0

Velocidad de emergencia

La velocidad de emergencia calculada como T_{50} , para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, se recoge en la Tabla 16. No se observan diferencias significativas entre bellotas pequeñas y grandes en el número de días necesarios para que emerjan el 50% de las plántulas (G: $52,4 \pm 1,2$; Pq: $49,4 \pm 3,4$; U de Mann-Whitney = 13,00; $p=0,423$). Ahora bien, se ha detectado, igual que sucedía con la velocidad de germinación, interacción *especie x tamaño* ($F_{[1,8]}=11,58$; $p=0,009$), lo que significa que sólo en el caso de *Q. pyrenaica* la velocidad de emergencia de las bellotas pequeñas es significativamente mayor que la de las grandes (G: $53,3 \pm 2,4$; Pq: $42,6 \pm 2,6$; t-Student= -2,96 $p=0,042$).

Tabla 16. Velocidad de emergencia calculada como el número de días al cabo de los cuales emergen el 50% de las plántulas, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, es decir para cada grupo de 25 bellotas.

Especie	Suelo	Tamaño	Velocidad (días) T ₅₀
Q. pyrenaica	Pastizal	Pequeñas	37,9
		Grandes	49,3
	Matorral	Pequeñas	47,0
		Grandes	52,7
	Bosque	Pequeñas	43,0
		Grandes	57,8
Q. petraea	Pastizal	Pequeñas	60,0
		Grandes	51,6
	Matorral	Pequeñas	57,0
		Grandes	52,6
	Bosque	Pequeñas	51,3
		Grandes	50,7

Si se calcula la velocidad de emergencia como el número medio de días que tardan en emerger las plántulas, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo (Tabla 17), se observa un patrón algo diferente que el descrito para el T₅₀. Ahora, el resultado de los análisis GLM aplicados, por un lado a las bellotas de *Q. pyrenaica* y por otro a las de *Q. petraea*, indican que el tamaño de la bellota (G, Pq) afecta de manera significativa a la velocidad de emergencia sólo en *Q. pyrenaica* (Qpy: $F_{[2,132]} = 2,75$ $p=0,001$; Qpe: $F_{[1,132]} = 2,56$ $p=0,113$), siendo mayor la velocidad de emergencia de plántulas a partir de bellotas pequeñas, mientras que la influencia del tipo de suelo parece ser probablemente significativa para ambas especies (Qpy: $F_{[1,132]} = 12,73$ $p=0,068$; Qpe: $F_{[1,132]} = 2,92$ $p=0,059$), aunque no se aprecia una interacción significativa entre tamaño y el tipo de suelo en el que fueron sembradas las bellotas. Además, al considerar conjuntamente los datos de velocidad de emergencia de ambas especies, el GLM encuentra interacción significativa *suelo x especie* ($F_{[2,230]} = 5,53$; $p=0,005$), lo que significa que solo para el suelo del pastizal las plántulas de *Q. pyrenaica* emergen antes que las de *Q. petraea* (Tabla 18). También se detecta interacción significativa *especie x tamaño* ($F_{[1,230]} = 12,55$; $p=0,001$) lo que significa que solo para las bellotas pequeñas la velocidad de emergencia de las plántulas de *Q. pyrenaica* es mayor que las de *Q. petraea* (Tabla 19).

Tabla 17. Velocidad de emergencia calculada como el número medio de días que tardan en emerger las plántulas, para cada especie y combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo, es decir para cada grupo de 25 bellotas.

Especie	Suelo	Tamaño	Días hasta la emergencia
Q. pyrenaica	Pastizal	Pequeñas	41,0±2,6
		Grandes	54,0±3,2
	Matorral	Pequeñas	53,5±4,2
		Grandes	59,6±4,7
	Bosque	Pequeñas	46,1±3,7
		Grandes	61,8±4,6
Q. petraea	Pastizal	Pequeñas	69,0±6,3
		Grandes	58,7±4,8
	Matorral	Pequeñas	57,3±3,2
		Grandes	50,8±3,7
	Bosque	Pequeñas	55,4±3,3
		Grandes	54,5±3,2

Tabla 18. Valores medios (n=2) de velocidad de emergencia (en días) de las plántulas de *Q. pyrenaica* y *Q. petraea* en cada tipo de suelo (pastizal, matorral y bosque).

	Q. pyrenaica	Q. petraea
Pastizal	47,9±2,3	64,7±4,2
Matorral	56,6±3,1	54,9±2,5
Bosque	54,8±3,2	54,9±2,3

Tabla 19. Valores medios (n=3) de velocidad de emergencia (en días) de plántulas a partir de bellotas grandes y pequeñas de *Q. pyrenaica* y *Q. petraea*.

	Grandes	Pequeñas
Q. pyrenaica	58,5±2,4	47,2±2,2
Q. petraea	54,8±2,3	60,9±2,7

La Figura 5 muestra la relación entre el peso de las bellotas y la velocidad de emergencia de plántulas para cada especie, mientras que la Figura 6 muestra la misma relación para el conjunto de los datos sin diferenciar especies. Se observa que para *Q. pyrenaica* existe una relación positiva y significativa entre el peso de las bellotas y la velocidad de emergencia de las plántulas, es decir, que a mayor peso de la bellota más tarda en emerger (Figura 5a), mientras que para *Q. petraea* la relación es inversa, aunque no significativa (Figura 5b).

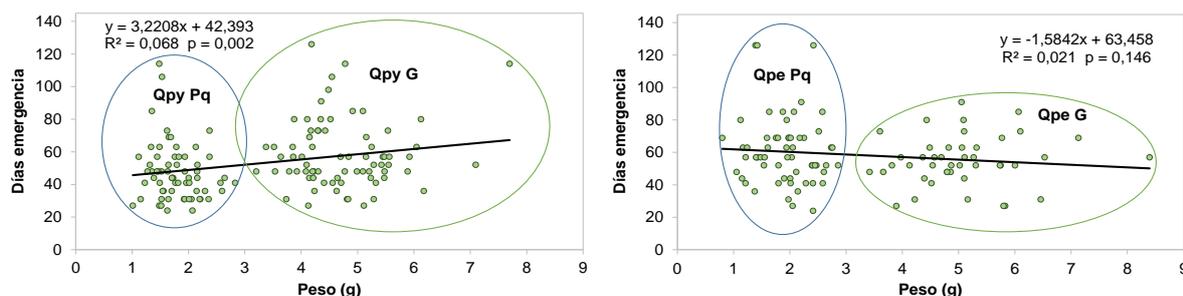


Figura 5. Tiempo (en días) que tarda en emerger cada plántula de: **(a)** *Q. pyrenaica* y **(b)** *Q. petraea*, en relación con el peso (g) de sus bellotas. Ecuaciones de las dos rectas, sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y la significación estadística de las correlaciones.

Por eso, para el conjunto de los datos la relación no es significativa (Figura 6).

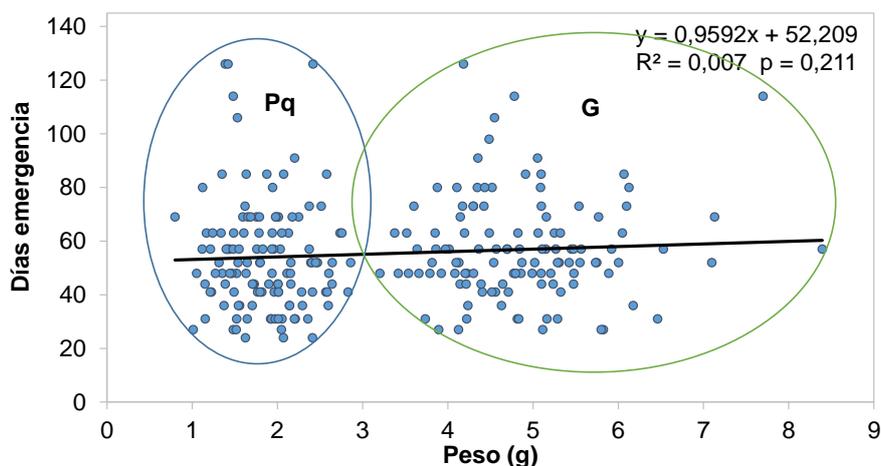


Figura 6. Tiempo (en días) que tarda en emerger cada plántula en relación con el peso (g) de sus bellotas, independientemente de la especie de *Quercus* de que se trate. Ecuación de la recta de regresión lineal, valor del coeficiente de determinación (R^2) y significación de la correlación.

Crecimiento

Q. pyrenaica

Tanto el tamaño de la bellota ($F_{[1,132]} = 1,79$; $p < 0,001$) como el tipo de suelo ($F_{[2,132]} = 5,41$; $p = 0,005$) influyeron de forma independiente en la biomasa aérea de las plantas de *Quercus pyrenaica*, de modo que a un mayor peso de la bellota le corresponde mayor biomasa aérea de la plántula en los tres tipos de suelo (Figura 7). Sin embargo, la pendiente de la recta es ligeramente mayor para el suelo del bosque, lo que significa que para ese tipo de suelo el incremento de peso de la bellota influye más en la biomasa aérea de la plántula.

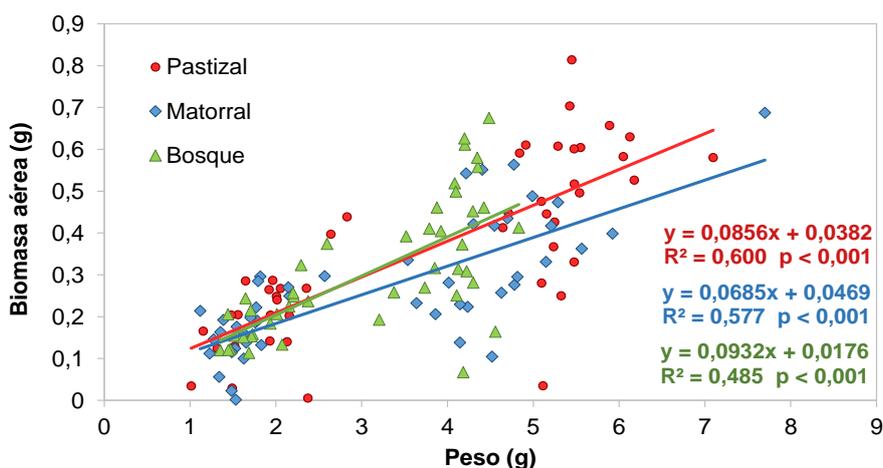


Figura 7. Peso seco (g) de la parte aérea de cada plántula de *Q. pyrenaica*, en relación con el peso (g) de sus respectivas bellotas, y en función del tipo de suelo en el que fueron sembradas (pastizal, matorral y bosque). Ecuaciones de las tres rectas con sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y la significación estadística de las correlaciones.

Tanto el tamaño de la bellota ($F_{[1,132]}= 218,27$; $p<0,001$) como el tipo de suelo ($F_{[2,132]}= 14,89$; $p<0,001$) influyeron también en la biomasa subterránea de las plantas de *Quercus pyrenaica*, pero además hubo interacción significativa suelo x tamaño ($F_{[2,132]}= 16,47$; $p<0,001$), de modo que a un mayor peso de la bellota le corresponde mayor biomasa subterránea de la plántula en los tres tipos de suelo (Figura 8). Sin embargo, la pendiente de la recta es ligeramente menor para el suelo del bosque, lo que significa que para ese tipo de suelo el incremento de peso de la bellota influye menos en la biomasa subterránea de la plántula.

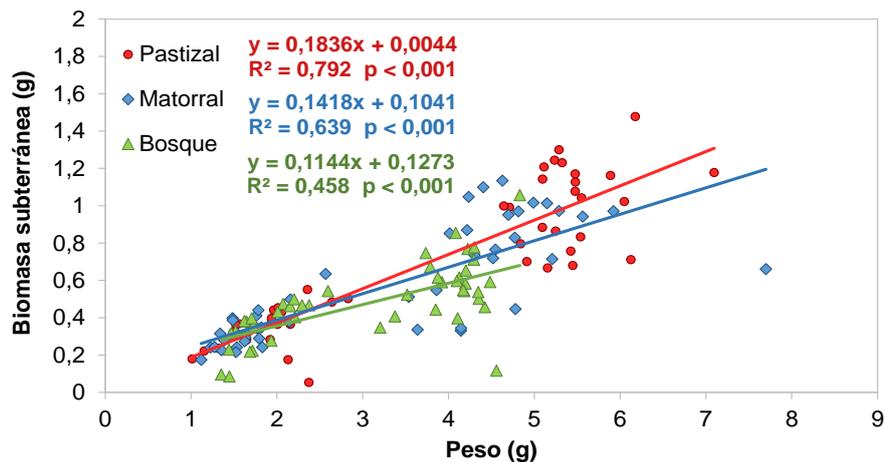


Figura 8. Peso seco (g) de la parte subterránea de cada plántula de *Q. pyrenaica*, en relación con el peso (g) de sus respectivas bellotas, y en función del tipo de suelo en el que fueron sembradas (pastizal, matorral y bosque). Ecuaciones de las tres rectas, sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y la significación estadística de las correlaciones.

Tanto el tamaño de la bellota ($F_{[1,132]}= 277,57$; $p<0,001$) como el tipo de suelo ($F_{[2,132]}= 14,99$; $p<0,001$) influyeron también en la biomasa total de las plantas de *Quercus pyrenaica*, pero además hubo interacción significativa suelo x tamaño ($F_{[2,132]}= 14,12$; $p<0,001$), de modo que a un mayor peso de la bellota le corresponde mayor biomasa total de la plántula en los tres tipos de suelo (Figura 9). Sin embargo, la pendiente de la recta es ligeramente mayor para el suelo del pastizal, lo que significa que para ese tipo de suelo el incremento de peso de la bellota influye más en la biomasa total de la plántula.

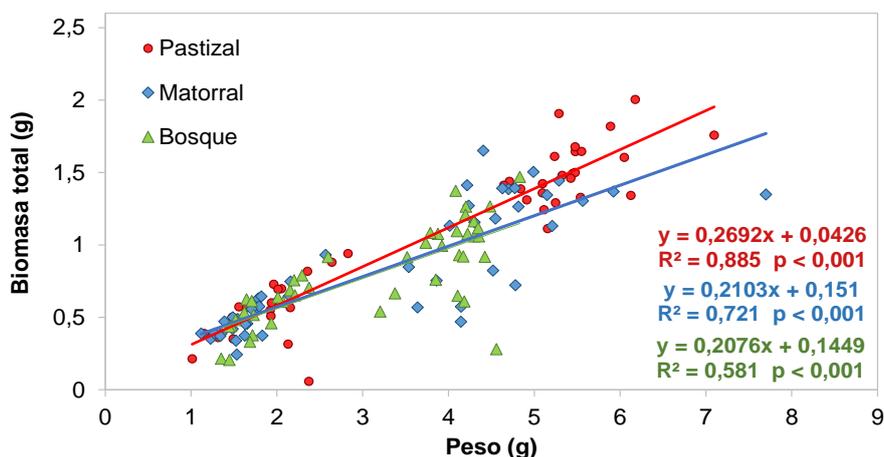


Figura 9. Peso seco total (g) de cada plántula de *Q. pyrenaica*, en relación con el peso (g) de sus respectivas bellotas, y en función del tipo de suelo en el que fueron sembradas (pastizal, matorral y bosque). Ecuaciones de las tres rectas, sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y la significación estadística de las correlaciones.

Quercus petraea

Sólo el tamaño de la bellota ($F_{[1,96]} = 138,66$; $p < 0,001$) influyó de forma significativa en la biomasa aérea de las plantas de *Quercus petraea*, de modo que a un mayor peso de la bellota le corresponde mayor biomasa aérea de la plántula (Figura 10). Sin embargo, tanto el tamaño de la bellota ($F_{[1,96]} = 177,35$; $p < 0,001$) como el tipo de suelo ($F_{[2,96]} = 4,22$; $p = 0,017$) influyeron de forma independiente en la biomasa subterránea de las plantas de *Quercus petraea*, de modo que a un mayor peso de la bellota le corresponde mayor biomasa subterránea de la plántula en los tres tipos de suelo (Figura 11). No obstante, la pendiente de la recta es ligeramente mayor para el suelo del matorral, lo que significa que para ese tipo de suelo el incremento de peso de la bellota influye más en la biomasa subterránea de la plántula.

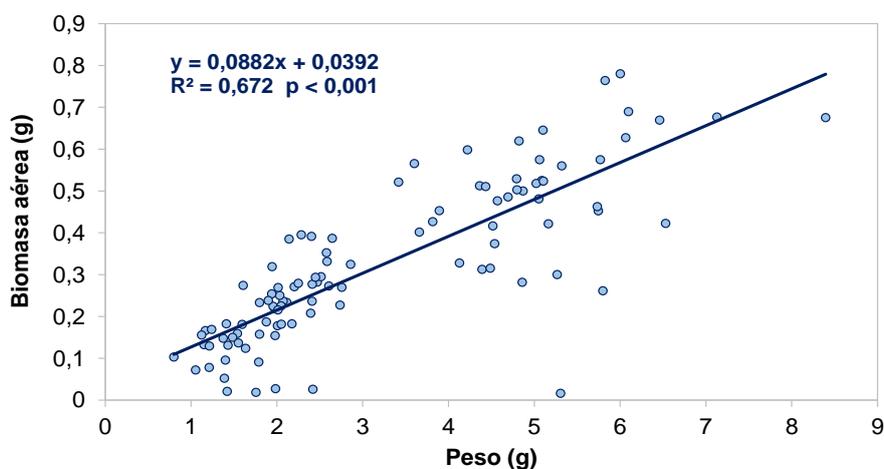


Figura 10. Peso seco (g) de la parte aérea de cada plántula de *Q. petraea*, en relación con el peso (g) de sus respectivas bellotas, independientemente del tipo de suelo en el que fueron sembradas. Ecuación de la recta de regresión lineal, valor del coeficiente de determinación (R^2) y la significación estadística de la correlación.

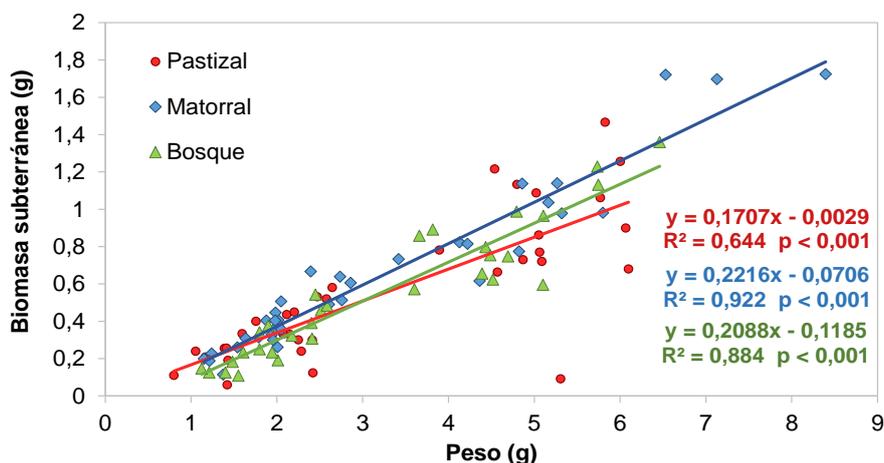


Figura 11. Peso seco (g) de la parte subterránea de cada plántula de *Q. petraea*, en relación con el peso (g) de sus respectivas bellotas, y en función del tipo de suelo en el que fueron sembradas (pastizal, matorral y bosque). Ecuaciones de las tres rectas, sus respectivos coeficientes de determinación (R^2) y la significación estadística de las correlaciones.

Sólo el tamaño de la bellota ($F_{[1,96]} = 215,12$; $p < 0,001$) influyó de forma significativa en la biomasa total de las plantas de *Quercus petraea*, de modo que a un mayor peso de la bellota le corresponde mayor biomasa total de la plántula (Figura 12).

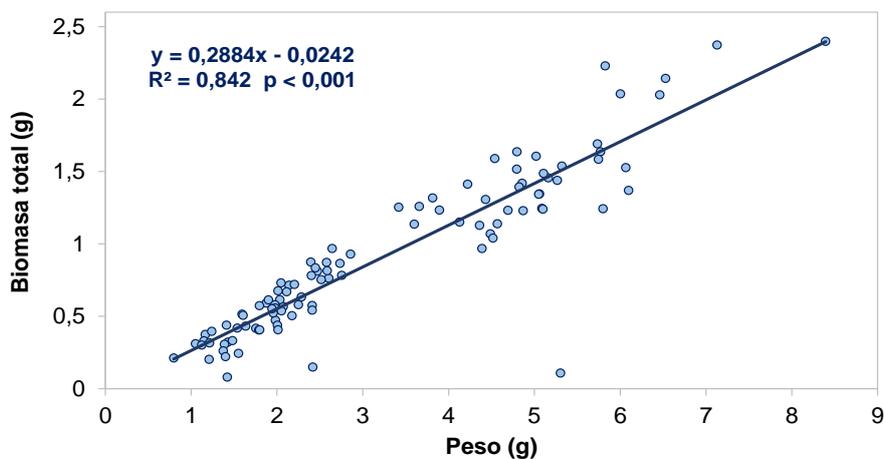


Figura 12. Peso seco total (g) de cada plántula de *Q. petraea*, en relación con el peso (g) de sus respectivas bellotas, independientemente del tipo de suelo en el que fueron sembradas. Ecuación de la recta de regresión lineal, valor del coeficiente de determinación (R^2) y la significación estadística de la correlación.

DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos reveló la influencia del tamaño de la bellota sobre determinados parámetros relacionados con la germinación de bellotas y la emergencia de plántulas de ambas especies de *Quercus*, mientras que el tipo de suelo no pareció influir sobre estos parámetros. En lo que respecta al crecimiento de las plántulas, la influencia del

tamaño de bellota volvió a ser evidente, existiendo además en algunos casos una influencia añadida del tipo de suelo sobre el peso seco de las plántulas.

Los resultados obtenidos en la fase inicial de caracterización de los suelos mostraron diferencias significativas en la mayoría de las variables químicas analizadas, con un mayor contenido de nutrientes en el suelo del bosque, de acuerdo con los resultados obtenidos por Milder *et al.* (2013) para la misma zona de estudio. Por el contrario, la caracterización inicial de las bellotas experimentales puso de manifiesto la gran homogeneidad en peso entre las bellotas grandes y entre las bellotas pequeñas de cada especie, independientemente del tipo de suelo; únicamente para las bellotas grandes de *Q. pyrenaica* existen diferencias de peso entre tipos de suelo. También se registró bastante homogeneidad en el tamaño de las bellotas entre especies; únicamente para las bellotas grandes sembradas en el suelo del bosque y para las pequeñas sembradas en el suelo del matorral se encontraron diferencias de peso entre ambas especies.

Germinación y emergencia

Porcentajes de germinación y emergencia de plántulas

Para ninguna de las dos especies consideradas en este estudio, los porcentajes finales de germinación de bellotas y de emergencia de plántulas se vieron influidos por el tamaño de las bellotas, al contrario de lo encontrado por otros autores para especies como *Q. ilex* y *Q. petraea* (Gómez 2004; Tilki 2010), que detectan mayores tasas de germinación en bellotas grandes. Es posible que los porcentajes finales de germinación estén más relacionados con la procedencia de las bellotas (p.e. edad del árbol productor) que con el peso de las mismas, como apuntan Tilki y Alptekin (2005) para el caso de *Q. aucheri*. Tampoco González-Rodríguez (2010) encuentra relación entre el peso de la bellota y la tasa de emergencia de plántulas de *Q. ilex*, *Q. pyrenaica*, *Q. suber* y *Q. faginea*. Por el contrario, Gómez (2004) encuentra mayores tasas de emergencia y de supervivencia para bellotas más grandes de *Q. ilex*.

Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas entre especies, con porcentajes medios de germinación y emergencia superiores para *Q. pyrenaica* que para *Q. petraea*, pero únicamente dentro del grupo de bellotas consideradas grandes (interacción especie x tamaño). También Rodríguez-Calcerrada (2011) encuentra diferencias en el porcentaje de emergencia de estas dos mismas especies, pero en su caso con mayor porcentaje de emergencia para *Q. petraea*.

Por otra parte, como cabía esperar teniendo en cuenta que el desarrollo de la plántula durante las primeras fases depende básicamente de las reservas presentes en los cotiledones (Rodríguez-Calcerrada *et al.* 2011), el tipo de suelo en el que se pusieron a

germinar las bellotas no afectó a las primeras fases del establecimiento, de modo que no tuvo influencia sobre los porcentajes finales de germinación y emergencia.

Duración de los periodos de germinación y emergencia

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la duración de los periodos de germinación y emergencia entre bellotas pequeñas y grandes. Únicamente en el caso de *Q. petraea* se obtuvo una diferencia probablemente significativa en la duración del periodo de germinación entre bellotas pequeñas y grandes, con una germinación más concentrada en el tiempo para las bellotas pequeñas. Este aspecto apenas se ha tratado en otros estudios, por lo que es difícilmente comparable.

De acuerdo con la hipótesis inicial, el tipo de suelo tampoco influyó sobre la duración de los periodos de germinación y emergencia de ambas especies.

Finalmente, aunque la duración de los periodos de germinación y emergencia no difiere significativamente entre especies, el mayor valor registrado para *Q. pyrenaica* respecto a *Q. petraea* podría sugerir una estrategia de *Q. pyrenaica* para adaptarse mejor a las condiciones cambiantes del medio (Moro 2011). De hecho, *Q. pyrenaica* presenta atributos relacionados con la tolerancia al estrés frente a la estrategia más conservativa de *Q. petraea* (Rodríguez-Calcerrada *et al.* 2008).

Velocidad de la germinación y emergencia

La velocidad de germinación calculada como T_{50} fue significativamente mayor para bellotas pequeñas que para las grandes, es decir, germinaron más rápido las bellotas pequeñas, aunque sólo en el caso de *Q. pyrenaica* la velocidad de germinación de las bellotas pequeñas fue significativamente mayor que la de las grandes. Al calcular la velocidad de germinación como el número medio de días que tardan en germinar las bellotas, sólo el tamaño de la bellota afectó de manera significativa a su velocidad de germinación en ambas especies, siendo mayor la velocidad de germinación para bellotas pequeñas. Se observó, en todos los casos, una relación positiva y significativa entre el peso de las bellotas y su velocidad de germinación, es decir, que a mayor peso de la bellota más tardaron en germinar. Sin embargo, la influencia del peso de la bellota sobre la velocidad de germinación fue mayor en el caso de *Q. pyrenaica*. Esta misma respuesta es observada por Moro (2011) para las bellotas de *Q. ilex*, mientras que para *Q. pyrenaica* obtiene una respuesta inversa, como también apunta Gómez (2004).

En cuanto a la velocidad de emergencia no se observaron diferencias significativas entre bellotas pequeñas y grandes en el número de días necesarios para que emerjan el 50% de las plántulas. Sólo en el caso de *Q. pyrenaica* la velocidad de emergencia de las bellotas pequeñas fue significativamente mayor que la de las grandes, al contrario de lo observado

por Moro (2011) y González-Rodríguez (2010) para dicha especie. La velocidad de emergencia calculada como el número medio de días que tardan en emerger las plántulas se vio afectada por el tamaño de la bellota de forma significativa sólo para *Q. pyrenaica*, donde se observó una relación positiva y significativa entre el peso de las bellotas y la velocidad de emergencia de las plántulas, es decir, que a mayor peso de la bellota más tardaron en emerger; mientras que para *Q. petraea* la relación fue inversa, aunque no significativa. Por eso, para el conjunto de los datos la relación no fue significativa. La mayor velocidad de germinación y emergencia observada en las bellotas pequeñas frente a las grandes puede explicarse como una estrategia de las primeras para evitar situaciones de gran competitividad y aumentar así la probabilidad de supervivencia de sus plántulas (Seiwa 2000).

El hecho de no encontrar diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de germinación y emergencia en función de la especie, puede ser debido a que el peso de las bellotas de ambas especies es bastante similar, para cada combinación de tamaño de bellota y tipo de suelo (ver Tabla 4).

Crecimiento

Quercus pyrenaica

Tanto el tamaño de la bellota, como el tipo de suelo influyeron en la biomasa aérea, subterránea y total de las plantas de *Quercus pyrenaica*. A mayor peso de la bellota le correspondió mayor biomasa aérea, subterránea y total de la plántula en los tres tipos de suelo. Estos resultados están de acuerdo con lo que apuntan otros autores (Leishman *et al.* 2000; Moro 2011) en relación a que las semillas de mayor tamaño dan lugar a plántulas más grandes con mayores probabilidades de supervivencia y establecimiento.

Sin embargo, el incremento de peso de la bellota influyó de forma distinta en la biomasa según el tipo de suelo, con una mayor influencia sobre la biomasa aérea en el suelo del bosque, y sobre la biomasa subterránea y total en el suelo del pastizal. Este resultado sugiere una inversión diferente de las reservas de la bellota de *Q. pyrenaica* en el crecimiento aéreo o subterráneo de la planta en función de los factores limitantes de cada ambiente, y está de acuerdo con los resultados obtenidos por Gómez-Fraile (2008) para plántulas de *Q. petraea* sembradas en vivero o en suelos mineros. Si el agua o los nutrientes son más limitantes (suelo del pastizal) las reservas se invierten en mayor medida en el desarrollo de la parte subterránea, mientras que en un suelo mejor (suelo del bosque) la inversión es mayor en el desarrollo de la parte aérea de la planta.

Quercus petraea

Sólo el tamaño de la bellota influyó de forma significativa en la biomasa aérea de las plantas de *Quercus petraea*, de modo que a un mayor peso de la bellota le correspondió mayor biomasa aérea de la plántula. En la biomasa subterránea influyeron de forma independiente tanto el tamaño de la bellota, como el tipo de suelo, de modo que a un mayor peso de la bellota le correspondió mayor biomasa subterránea de la plántula en los tres tipos de suelo. No obstante, en el suelo del matorral, el incremento de peso de la bellota influyó más en la biomasa subterránea de la plántula. Por último, en la biomasa total de las plantas de *Q. petraea*, sólo el tamaño de la bellota influyó de forma significativa, de tal forma que a un mayor peso de la bellota le correspondió mayor biomasa total de la plántula.

Estos resultados indican que *Q. petraea* es más sensible que *Q. pyrenaica* al estrés ambiental (Rodríguez-Calcerrada *et al.* 2008), pues invierte en mayor medida en biomasa subterránea que aérea, independientemente del tipo de suelo.

CONCLUSIONES

1. Tanto los porcentajes finales de germinación y de emergencia de plántulas, como la duración de sus periodos, no se ven afectados por el tamaño de la bellota para ninguna de las dos especies objeto de estudio (*Quercus pyrenaica* y *Quercus petraea*), por lo que dichos parámetros deben estar más relacionados con otros aspectos, como puede ser la procedencia de las bellotas.
2. Las bellotas de menor tamaño tienden a germinar antes que las grandes para las dos especies estudiadas. Sin embargo, el tamaño de la bellota afecta de forma desigual a la velocidad de emergencia de *Q. pyrenaica* y de *Q. petraea*. Las bellotas de mayor tamaño tardan más en emerger en *Q. pyrenaica*, mientras que en *Q. petraea* la tendencia es al contrario, aunque no significativa.
3. Los porcentajes medios de germinación de bellotas y emergencia de plántulas son mayores para *Q. pyrenaica* que para *Q. petraea*, diferencia que viene determinada por las bellotas de tamaño grande. Por el contrario, no hay diferencias en la duración ni en la velocidad de germinación y de emergencia entre ambas especies.
4. El tipo de suelo no influye en los porcentajes, ni en la duración, ni en la velocidad de germinación de bellotas y emergencia de plántulas para ninguna de las dos especies consideradas. Las primeras fases del establecimiento de plántulas dependen básicamente de las reservas presentes en los cotiledones de la bellota, por lo que el suelo no tiene ninguna influencia.

5. El tamaño de la bellota afecta a la biomasa aérea, subterránea y total de las plántulas de ambas especies. Las bellotas de mayor peso tienden a originar plántulas de mayor biomasa aérea, subterránea y total.
6. El tipo de suelo afecta a la biomasa aérea, subterránea y total de las plántulas de *Q. pyrenaica*, pero únicamente a la biomasa subterránea de *Q. petraea*. Las condiciones más limitantes de los suelos mineros pueden determinar que se inviertan más reservas en el desarrollo de la parte subterránea que en la parte aérea, especialmente en especies de *Quercus* más sensibles al estrés ambiental como es el caso de *Q. petraea* en la zona de estudio.
7. Los resultados de este estudio pueden ayudar a comprender mejor algunos aspectos relacionados con la regeneración natural de las quercíneas, además de aportar información a tener en cuenta en la gestión forestal de ambientes perturbados.

BIBLIOGRAFÍA

- Alday, J.G.; Marrs, R.H.; Martínez-Ruiz, C. 2012. Soil and vegetation development during early succession on restored coal wastes: a six-year permanent plot study. *Plant and Soil* 353: 305-320.
- Allen, S.E. 1989. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell, Oxford, UK.
- Bremner, J.M.; Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen total. En: Miller, A.L.; Keeney, D.R. (eds.), *Methods of soil analysis*, pp. 595-624. American Society of Agronomy, Madison, WI, US.
- Castro, J.; Zamora, R.; Hódar, J.A. 2006. Restoring *Quercus pyrenaica* forests using pioneer shrubs as nurse plants. *Applied Vegetation Science* 9: 137-142.
- Day, P. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. En: Black, C.A. (ed.), *Methods of soil analysis*, pp. 565-566. American Society of Agronomy, Madison, WI, US.
- Díaz-Maroto, I.J.; Vila-Lameiro, P.; Vizoso-Arribe, O.; Alañón, E.; Díaz-Maroto, M.C. 2011. Natural forests of oak in NW Spain: soil fertility and main edaphic properties. En: Whalen, J.K. (ed.), *Soil fertility improvement and nutrient management- A global perspective*, chapter 1. InTech, open published on: 2012-02-24.
- Gómez, J.M.; García, D.; Zamora, R. 2003. Impact of vertebrate acorn-and seedling-predators on a Mediterranean *Quercus pyrenaica* forest. *Forest Ecology and Management* 180(1): 125-134.
- Gómez, J.M. 2004. Bigger is not always better: conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution* 58(1): 71-80.
- Gómez-Fraile, B. 2008. Estrategias de propagación de tres especies leñosas colonizadoras (*Quercus petraea*, *Cytisus scoparius*, *Genista florida*) de estériles de carbón (noroeste de la provincia de Palencia). Trabajo Fin de Carrera. Universidad de Valladolid.
- González-Rodríguez, V. 2010. Establecimiento de cuatro especies de *Quercus* en el sur de la Península. Factores limitantes. Tesis doctoral. Universidad de Córdoba.
- Guisande, C.G.; Lise, A.V.; Felpeto, A.B. 2011. Tratamiento de datos con R, STATISTICA y SPSS. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.
- I.G.M.E. 1982. Mapa geológico de España (1:50.000) 132: 16-8.
- Junta de Castilla y León 1988. Análisis del medio físico de Palencia. Delimitación de unidades y estructura territorial, pp. 23-24. EPYPSA. Valladolid.

- Leishman, M.R.; Wright, I.J.; Moles, A.T.; Westoby, M. 2000. The evolutionary ecology of seed size. En: Fenner, M. (ed.), *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, pp. 31-57. CABI, Wallingford, Oxford, U.K.
- López-Marcos, D. 2012. Influencia de la heterogeneidad edáfica y de la topografía en la composición de especies vegetales sobre escombreras mineras de carbón del norte de España. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Valladolid.
- MAPA 1991. Caracterización agroclimática de la provincia de Palencia. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid.
- 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*. *Ecosistemas* 23(2): 124-129.
- Milder, A.I.; Fernández-Santos, B.; Martínez-Ruiz, C. 2013. Colonization patterns of woody species on lands mined for coal in Spain: preliminary insights for forest expansion. *Land Degradation and Development* 24(1): 39-46.
- Ministerio de Agricultura 1979. Mapa de cultivos y aprovechamientos: Guardo (Palencia). CIBESA (Cartográfica Ibérica S. A.), Madrid.
- Moles, A.T.; Westoby, M. 2004. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology* 92: 372-383.
- Moro, D. 2011. Estudio de la variabilidad intrapoblacional e interespecífica de las características regenerativas en *Quercus ilex* subsp. *ballota* y *Quercus pyrenaica*, considerando la edad de la madre (sólo para *Q. ilex*) y el tamaño de la bellota. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Salamanca.
- Narganes, F. 2010. Mineros y minas. Historia del carbón de antracita en la Montaña Palentina. Aruz Ediciones, Palencia.
- Olsen, S.R.; Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. En: Miller, A.L.; Keeney, D.R. (eds.), *Methods of soil analysis*, pp. 403-427. American Society of Agronomy, Madison, WI, US.
- Oria de Rueda, J.A. 1996. Guía de las plantas silvestres de Palencia. Cálamo, Palencia.
- Pulido, F.; Díaz, M. 2005. Regeneration of a Mediterranean oak: A whole-cycle approach. *Ecoscience* 12(1): 92-102
- Rodríguez-Calcerrada, J.; Pardos, J.A.; Gil, L.; Reich, P.B.; Aranda, I. 2008. Light response in seedlings of a temperate (*Quercus petraea*) and a sub-Mediterranean species (*Quercus pyrenaica*): contrasting ecological strategies as potential keys to regeneration performance in mixed marginal populations. *Plant Ecology* 195: 273-285.
- Rodríguez-Calcerrada, J.; Nanos, N.; Aranda, I. 2011. The relevance of seed size in modulating leaf physiology and early plant performance in two tree species. *Trees* 25(5): 873-884.
- Seiwa, K. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. *Oecologia* 123(2): 208-215.
- Soil Survey Staff 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Tilki, F. 2010. Influence of acorn size and storage duration on moisture content, germination and survival of *Quercus petraea* (Mattuschka). *Journal of Environmental Biology* 31(3): 325-328.
- 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.
- Urbietta, I.R.; Pérez - Ramos, I.M.; Zavala, M.A.; Marañón, T.; Kobe, R.K. 2008. Soil water content and emergence time control seedling establishment in three co-occurring Mediterranean oak species. *Canadian Journal of Forest Research* 38(9): 2382-2393.
- Villar, R.; Lopez-Iglesias, B.; Ruiz-Benito, P.; Zavala, M.A., De la Riva, E.G. 2014. Crecimiento de plántulas y árboles de seis especies de *Quercus*. *Ecosistemas* 23(2): 64-72.