



Trabajo Fin de Grado

Aplicando el concepto de rasgos funcionales a la ecología de la restauración: establecimiento de *Quercus coccifera* L. en escombreras de yesos de desulfuración

Autor

Jorge Clemente Ibor

Directores

Jose Miguel Castillejo Moreno

Ponente

Ernesto Pérez Collazos

Escuela Politécnica Superior de Huesca
2016

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
PALABRAS CLAVE.....	1
ABSTRACT.....	2
KEYWORDS.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Justificación.....	3
2. METODOLOGÍA.....	6
2.1. Área de estudio.....	6
2.2. Selección de especies vegetales.....	7
2.3. Estudio de rasgos funcionales con base en la supervivencia de <i>Quercus coccifera</i> L. en sustratos de yesos de desulfuración.....	8
2.4. Estudio de la calidad de semilla de <i>Quercus coccifera</i> L. como rasgo funcional....	10
2.5. Comparación de los rasgos funcionales de <i>Quercus coccifera</i> L. y <i>Gypsophila struthium</i> L.....	15
2.6. Análisis estadísticos.....	15
3. RESULTADOS.....	18
3.1. Estudio de rasgos funcionales con base en la supervivencia de <i>Quercus coccifera</i> L. en sustratos de yesos de desulfuración.....	18
3.2. Estudio de la calidad de semilla de <i>Quercus coccifera</i> L. como rasgo funcional....	21
3.2.1. Caracterización de las plantas madre de <i>Quercus coccifera</i> L.....	21
3.2.2. Ensayos de germinación.....	26
3.3. Comparación de los rasgos funcionales de <i>Quercus coccifera</i> L. y <i>Gypsophila struthium</i> L.....	29

4. DISCUSIÓN.....	32
4.1. Estudio de rasgos funcionales con base en la supervivencia de <i>Quercus coccifera</i> L. en sustratos de yesos de desulfuración.....	32
4.2. Estudio de la calidad de semilla de <i>Quercus coccifera</i> L. como rasgo funcional....	35
4.2.1. Caracterización de las plantas madre de <i>Quercus coccifera</i> L.....	35
4.2.2. Ensayos de germinación.....	38
4.3. Comparación de los rasgos funcionales de <i>Quercus coccifera</i> L. y <i>Gypsophila</i> <i>struthium</i> L.....	40
5. CONCLUSIONES.....	43
6. BIBLIOGRAFÍA.....	45
7. ANEXOS.....	54
ANEXO I: Área de estudio.....	54
ANEXO II: Tabla resumen de los rasgos funcionales de <i>Quercus coccifera</i> L. recopilados en la revisión bibliográfica.....	55
ANEXO III: Resultados del seguimiento de los ensayos de germinación de <i>Quercus coccifera</i> L.....	67
ANEXO IV: Resultados del test de normalidad y homocasticidad para el tiempo medio de germinación y el nº de bellotas germinadas.....	68
ANEXO V: Fotografías del trabajo de laboratorio.....	69

RESUMEN

El estudio de los rasgos funcionales de las plantas aporta información relevante sobre su ecología y permite conocer sus limitaciones morfológicas, fisiológicas o de desarrollo. Esta herramienta se ha empezado a aplicar en restauración ecológica en los últimos años de cara a evaluar el éxito de las restauraciones ecológicas. El presente trabajo estudia los rasgos funcionales de *Quercus coccifera* L. con el objetivo de analizar cuáles son las estrategias y mecanismos que han permitido el éxito en el establecimiento de dicha especie en una plantación experimental sobre un tecnosuelo de yeso de desulfuración, que se ubica en la antigua mina de lignito Corta Barrabasa (Teruel, España), recalificada como vertedero de residuos inertes procedentes de la central térmica de Andorra. Para ello se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de los rasgos funcionales de *Quercus coccifera* que se han estudiado hasta el momento y se han contrastado algunos de ellos con los que se han medido en la plantación. Posteriormente se han recolectado bellotas de plantas madre de *Quercus coccifera* ubicadas en el entorno de la mina y se han llevado a cabo ensayos de germinación para conocer la calidad de la cosecha de cara a un posible proyecto de restauración por siembra utilizando bellotas procedentes de dichas plantas madre. Por otra parte, se ha llevado a cabo una caracterización de las plantas madre de las que se han recolectado las bellotas para estudiar las correlaciones existentes entre el tamaño (biovolumen) de las plantas y el tamaño y número de las bellotas que producen, así como su capacidad germinativa. Por último, se ha llevado a cabo una comparación a nivel de biología de semilla entre *Quercus coccifera* y *Gypsophila struthium* de cara a contrastar sus estrategias germinativas y las adaptaciones a los suelos de yeso. Se ha visto que para *Quercus coccifera* los rasgos funcionales más estudiados hasta el momento son de tipo morfológico y fisiológico, siendo los menos estudiados los que están relacionados con la biología de semilla. Los resultados del ensayo de germinación han revelado que a pesar de que el lote de las bellotas recolectadas tiene una buena calidad, son las bellotas más grandes las que tienen mayor capacidad germinativa. Además, con los resultados de estos ensayos se han calculado nuevos rasgos funcionales como el porcentaje de germinación según tamaño de bellota, el tiempo medio de germinación (MGT) o la tasa de germinación (T50). Por otra parte, en las plantas madre estudiadas se han detectado una correlación negativa entre el tamaño de la planta madre y el tamaño de las bellotas producidas y también una correlación negativa entre el tamaño y el número de bellotas producidas, aunque no está claro si es constante a lo largo del tiempo o depende de las condiciones climáticas que se dan en cada ciclo fenológico. En cuanto a las plántulas de *Quercus coccifera* de la plantación experimental de la mina, se han contrastado algunos de sus rasgos funcionales morfológicos (superficie foliar, SLA y altura) con atributos procedentes de la revisión bibliográfica, lo que ha permitido demostrar que están sometidas a condiciones de estrés ambiental. Por último, tras comparar *Quercus coccifera* y *Gypsophila struthium* se ha visto que ambas especies son similares en relación a la estrategia de germinación.

PALABRAS CLAVE

Quercus coccifera, coscoja, rasgos funcionales, revisión bibliográfica, tecnosuelo de yesos, bellotas, plantas madre, *Gypsophila struthium*.

ABSTRACT

The plant traits studies give relevant information about the plants ecology and allow to know their morphological, physiological or development limitations. In last years, plant traits start to be used in restoration ecology to evaluate the revegetation success. This paper studies the functional traits of *Quercus coccifera* L. with the aim of analyzing the strategies and mechanisms that have enabled the successful establishment of this species in an experimental plantation on a desulfurization gypsum technosol, which is located in the ancient lignite Corta Barrabasa mine (Teruel, Spain), reclassified as a dumping ground for inert waste from Andorra power plant. For this we have done a *Quercus coccifera* functional traits review and some of them have been compared with the attributes measured on the plantation. Later it was collected acorns from *Quercus coccifera* mother plants located near of the mine and we have done germination tests to determine the quality of the crop for a possible restoration project by planting using acorns from this mother plants. Moreover, it has done a characterization of the mother plants that have been used to collected acorns, to study the correlations between the plant size (biovolume) and the acorn size and number of acorns that they produce, as well as germination capacity. At last, it has done a comparison at seed biology level between *Quercus coccifera* and *Gypsophila struthium* to contrast their germination strategies and their gypsum soils adaptations. It has been found that the most studied *Quercus coccifera* functional traits are morphological and physiological type, being the less studied those related to the biology of seed. The germination test results have revealed that even though the batch of collected acorns has a good quality, the largest acorns have the greatest germination percentage. In addition, the results of these trials have been used to calculate new functional traits such as germination percentage per acorn size, the mean germination time (MGT) or the germination rate (T50). Moreover, in the studied mother plants it has been detected a negative correlation between the mother plant size and the size of acorns that they have produced and also a negative correlation between the size and number of produced acorns, although it is unclear if this correlation is constant over time or it depends on weather conditions that occur in each phenological cycle. As for the *Quercus coccifera* seedlings located in the mine's experimental planting, it has been compared some of their morphological functional traits (leaf area, SLA and height) with attributes from the review, which has demonstrated that they are influenced by environmental stress conditions. Finally, after comparing *Quercus coccifera* and *Gypsophila struthium* we have seen that both species are similar in relation to the strategy of germination.

KEYWORDS

Quercus coccifera, kermes oak, functional traits, review, gypsum technosol, acorns, parent plant, *Gypsophila struthium*.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

El presente trabajo se basa en algunos de los resultados obtenidos en un proyecto de I+D en restauración ecológica de la mina a cielo abierto Corta Barrabasa, ubicada en la comarca de Andorra-Sierra de Arcos (Teruel), que está financiado por ENDESA Generación S.A. Esta mina se localiza en la cuenca minera de la Val de Ariño, en donde existe un yacimiento multicapa de carbón de edad albiense (Cretácico inferior), cuyas capas se disponen en el flanco norte de un sinclinal alargado en dirección Este-Oeste, desde Andorra hasta Ariño.

En esta cuenca, el proceso extractivo se inició con trabajos de minería subterránea, pero diversas vicisitudes llevaron a mediados de los años setenta a la apertura de cortas o explotaciones a cielo abierto. Como ventajas de estas explotaciones a cielo abierto se planteaban su mayor seguridad y su mayor rendimiento, aunque también se generan una gran cantidad de impactos ambientales y paisajísticos, como son la pérdida a medio plazo de los usos tradicionales del suelo, la formación de grandes escombreras y huecos de mina y afecciones a la flora y fauna de la zona, entre otras. Ante la proliferación de estas explotaciones, la administración puso en marcha de forma paulatina diferentes medidas legislativas, con el fin de garantizar la restauración de los terrenos afectados, por parte del promotor (Gobierno de Aragón, 2010), como es el caso del proyecto nombrado anteriormente.

Actualmente, la mina de carbón Corta Barrabasa ya no se explota y se utiliza como vertedero del yeso generado en un proceso de desulfuración con caliza de los gases de combustión, en la central térmica de Andorra. De esta manera, el yeso producido se utiliza, junto con escorias y cenizas volátiles, para llenar el hueco de la mina para su posterior revegetación.

En este proyecto de restauración se seleccionaron especies autóctonas presentes en la zona próxima al área de actuación, de cara a realizar varias plantaciones y siembras experimentales en la mina y así conocer el establecimiento y desarrollo de cada una de ellas en las condiciones ambientales de la misma. El estudio de la vegetación natural de un ecosistema degradado aporta una información de vital importancia desde el punto de vista de su restauración. Hay que tener en cuenta que la matriz que rodea a un ecosistema degradado proporciona un gran número de funciones ecosistémicas a dicho sistema, entre las que puede destacarse el envío de información en forma de propágulos vegetales (Donald and Evans, 2006).

La mina se puede considerar como una “isla aislada” que se ha generado como consecuencia de la presencia de un sustrato alóctono constituido por los materiales depositados en ella y que proceden del proceso de desulfuración de la central térmica. Según la teoría de biogeografía de islas, dicho ecosistema degradado teóricamente podría ser colonizado por los propágulos presentes en la matriz que le rodea. No obstante, dicho proceso de colonización se encuentra limitado por una combinación de factores de dispersión y reclutamiento, los cuales a su vez dependen en gran medida de las condiciones ambientales del espacio degradado en cuestión y de las características adaptativas de cada especie (Verheyen and Hermy, 2001).

Siguiendo los criterios expuestos anteriormente, una de las especies que se seleccionaron para la plantación experimental fue *Quercus coccifera* L., que es una especie autóctona de la zona

de estudio, estando presente en la matriz que rodea la mina, y que de no haber factores ambientales limitantes en el espacio degradado, podría colonizarlo de manera natural. Otro motivo por el que se eligió esta especie es que tiene un bajo grado de gipsofilia y se quería comprobar su desarrollo sobre un tecnosuelo de yeso de gran pureza.

Así, el presente trabajo parte de los resultados que se han obtenido en la plantación experimental de la mina para *Quercus coccifera* L., especie para la cual se ha obtenido casi un 100% de supervivencia de sus individuos bajo dichas condiciones ambientales. En esta plantación los individuos de coscoja han sobrevivido durante varios años, aunque no han tenido un crecimiento similar al que tendrían bajo condiciones ambientales más favorables para la especie, tal y como muestra García (2015) en su TFG. Hay que tener en cuenta que la coscoja no ha sido considerada en ningún caso como una especie gipsófila estricta, aunque en algunas publicaciones, como la Flora Ibérica, el Atlas de la Flora de Aragón o el Atlas de la Flora del País Vasco, es considerada como una especie gipsovaga, ya que su distribución en algunas regiones incluye suelos de yesos.

Para intentar explicar la supervivencia de los individuos de coscoja en estas condiciones ambientales de elevado estrés se han estudiado algunos rasgos funcionales de esta especie, tratando de descubrir cuáles son los mecanismos que hacen posible dicha supervivencia y, además, se han comparado algunos de esos rasgos con los de la especie *Gypsophila struthium* L., que es característica de ambientes yesíferos de la Península Ibérica.

Actualmente existe un interés creciente en el uso de los rasgos funcionales de las plantas y la clasificación de especies a partir de sus rasgos en tipos funcionales. El estudio de los rasgos funcionales, es decir, las características morfo-fisió-fenológicas que influyen directa o indirectamente en la adecuación de la planta al ambiente a través de sus efectos sobre el crecimiento, la reproducción y la supervivencia, puede aportarnos información relevante sobre la ecología de las diferentes especies y nos permiten comprender mejor cómo las plantas se relacionan con su medio (De la Riva et al., 2014).

Se podría decir que los rasgos funcionales actúan como un marcador que proporciona una información indirecta acerca de diferentes parámetros de índole funcional en el ecosistema (Garnier et al. 2004). Así, los rasgos funcionales han sido utilizados por su capacidad de predecir cambios en la dinámica del ecosistema, ya sea en el ámbito del Cambio Climático (Díaz and Cabido, 1997; Paruelo and Lauenroth, 2010), de distintos regímenes de perturbaciones (Lloret and Vilá 2009; McIntyre et al., 2010; Quétier et al., 2007) o de degradación del ecosistema (Kleyer, 2009).

Los análisis de rasgos funcionales constituyen una herramienta muy útil, incluso a pesar de que la terminología no se encuentra aún estandarizada dentro del mundo científico (Violle et al. 2007). Según Lavorel and Garnier (2002), los rasgos funcionales establecen un útil nexo entre la comunidad vegetal existente y los procesos ecosistémicos funcionales subyacentes en el ecosistema. Además, la caracterización funcional de especies nos permite conocer su grado de diversificación funcional y al mismo tiempo comprender sus limitaciones morfológicas, fisiológicas o de desarrollo (De la Riva et al., 2014). Pywell et al. (2003) introducen esta herramienta en el ámbito de la restauración ecológica para evaluar la relación existente entre los rasgos funcionales de las plantas utilizadas con el éxito de la recuperación del ecosistema.

En principio, los yesos depositados en la mina y que conforman el sustrato de la plantación experimental, constituyen el factor ambiental limitante más importante para el establecimiento de la mayoría de especies de la matriz circundante. Este tecnosuelo actúa como limitante físico debido a su compactación, generándose costras superficiales que dificultan la emergencia de las plántulas y dificultando posteriormente la penetración radicular en profundidad, y como limitante químico debido a su composición en sulfato cálcico, lo que genera una toxicidad para la germinación de las semillas (Escudero, 2009). Palacio et al. (2014) coinciden en afirmar que los sustratos de yeso tienen una porosidad baja y un déficit nutricional extremo y considera estos suelos como uno de los más limitantes para las plantas.

Las plantas gipsófitas, como es el caso de *Gypsophila struthium* L. son un claro ejemplo de edafismo, ya que se considera que los suelos de yesos, provocan síndromes adaptativos en las plantas que van ligadas a ellos, como pueden ser la succulencia foliar o la microfilia. Además, a estos tipos de suelos va ligada una flora especial, que suele contar con un elevado porcentaje de endemismos (Merlo et al., 1998). No obstante, a pesar de los esfuerzos dedicados a comprender la dinámica de las plantas que habitan en suelos yesíferos, todavía no se conocen con exactitud los mecanismos que muestran estas plantas para ser competitivas en este medio (Palacio et al., 2014).

Así, el objetivo general que se ha planteado en este estudio es analizar cuáles son los rasgos funcionales de la especie *Quercus coccifera* L. que han permitido el éxito en el establecimiento de individuos de dicha especie en un tecnosuelo de yeso de desulfuración.

A continuación se muestran los objetivos específicos:

- Realización de una revisión bibliográfica de rasgos funcionales de *Quercus coccifera*, de cara a conocer qué se ha estudiado hasta el momento.
- Aportar nuevos rasgos funcionales de *Quercus coccifera* al proyecto TRY database.
- Estudio experimental de la calidad de bellotas recolectadas de *Quercus coccifera*, para conocer su viabilidad y obtener nuevos rasgos funcionales de esta especie.
- Caracterización de las plantas madre de *Quercus coccifera* de las que se han recolectado bellotas para el estudio de calidad.
- Estudio de las correlaciones entre el biovolumen de la plantas madre, el tamaño de sus bellotas y la tasa de germinación de dichas bellotas.
- Análisis comparativo de *Quercus coccifera* y *Gypsophila struthium* a nivel de biología de semilla a través de algunos de sus rasgos funcionales.

Como hipótesis nulas se ha establecido que:

- La mayor parte de los rasgos funcionales estudiados hasta el momento para *Quercus coccifera* son de tipo morfológico ya que son los más fácilmente medibles y actúan como indicadores directos del desarrollo de la planta.

- La correlación entre el tamaño de las plantas madre y el tamaño de las bellotas que producen es directamente proporcional, es decir, aquellas plantas madre de mayor tamaño producirán bellotas más grandes.
- La correlación entre el tamaño de las plantas madre y el número de bellotas que producen es directamente proporcional, es decir, aquellas plantas madre de mayor tamaño producirán una mayor cantidad de bellotas.
- La correlación entre el tamaño de las bellotas y su capacidad germinativa es directamente proporcional. Así, las bellotas de mayor tamaño tendrán una capacidad germinativa mayor que las bellotas de menor tamaño.
- A nivel de biología de semilla, *Quercus coccifera* y *Gypsophila struthium* mostrarán ciertos rasgos funcionales similares ya que ambas especies se distribuyen en regiones áridas o semiáridas mediterráneas. No obstante, mostrarán ciertos mecanismos o estrategias diferentes, como resultado de la adaptación a los suelos de yesos.

2. METODOLOGÍA:

2.1. Área de estudio:

La mina a cielo abierto conocida con el nombre de Corta Barrabasa, ubicada en Andorra (Teruel), es el lugar en el que se ha llevado a cabo el estudio que ha generado interés de cara a analizar en el presente trabajo que rasgos funcionales de *Q. coccifera* son los que le han permitido un elevado éxito de establecimiento en un sustrato de yesos de desulfuración.

En dicha mina, la actividad extractiva fue desarrollada desde el año 1986 hasta el 2002. Tras su clausura, se recalificó como vertedero de residuos inertes, y en él se han vertido, principalmente, los residuos derivados de la combustión del carbón de la central térmica (yesos de desulfuración, escorias y cenizas volátiles).

Por otra parte, la zona de recolección del material vegetal para el estudio de calidad de semilla es una zona de matorral degradada, probablemente por sobrepastoreo y actividades agrícolas, que se ubica en las proximidades de la mina-vertedero Corta Barrabasa, más concretamente en las faldas del Cerro del Carnicero, tal y como se puede ver en el Anexo I. Las coordenadas UTM de la zona de recolección son: 30N 710455 4540697.

Esta zona se caracteriza por un clima del tipo mediterráneo continental frío, según el Atlas Climático de Aragón, con un ambiente semiárido de lluvias escasas e irregulares (300 mm/año), temperaturas medias elevadas (13,5° de media anual) y fuertes vientos desecantes (Gobierno de Aragón, 2010).

De acuerdo con la Síntesis Biogeográfica o Corológica de Europa, de Rivas-Martínez (1983), el área de estudio está comprendida dentro del Reino Holártico, en la Región Mediterránea, Subregión mediterránea occidental, superprovincia Mediterránea - Iberolevantina, Provincia Aragonesa y en el Sector Bárdenas - Monegros.

En cuanto a la geología, las litologías más abundantes de la zona de estudio son calizas, conglomerados, areniscas, arenas, limos y lutitas del Terciario, a las que acompañan, en menor medida, calizas, arenas, dolomías y carniolas del Cretácico y Jurásico. En esta zona predominan los suelos de tipo Calcisol háplico, acompañados de otros suelos de tipo Cambisol calcárico y Gypsisol háplico (Gobierno de Aragón, 2010).

La vegetación predominante está compuesta por matorral mediterráneo, que principalmente son romeros (*Rosmarinus officinalis*) y aliagas (*Ulex parviflorus*), acompañados por tomillos (*Thymus vulgaris*), salvias (*Salvia officinalis*), espliegos (*Lavandula latifolia medicus*) y ajedreas (*Satureja montaña*), bosquetes no muy extensos de coscoja (*Quercus coccifera*) que acompañan a árboles y arbustos en zonas bajas, cálidas y soleadas de suelos pobres, pino carrasco (*Pinus halepensis*) de repoblación, algunas carrascas (*Quercus ilex*) en ladera de umbría y numerosos campos de cultivo con labor intensiva (Gobierno de Aragón, 2010).

2.2. Selección de especies vegetales

De cara a nuestro trabajo se han tenido en cuenta dos especies. Por una parte, *Quercus coccifera* L. que es la especie objeto de estudio, tal y como se ha comentado anteriormente, y por otra parte la especie *Gypsophila struthium* L., que se ha seleccionado por ser una de las especies gipsofitas más abundantes en España (Soriano et al., 2014) y con más información disponible, ya que también es una de las más estudiadas, para comparar algunos de sus rasgos funcionales con los de *Quercus coccifera* L.

A continuación se presenta una breve descripción, extraída de la Flora Ibérica y el Atlas de la Flora de Aragón, de las características más relevantes en cuanto a biología, ecología y distribución de cada una de las especies:

* *Quercus coccifera* L. (Fagaceae) Subgénero: *Sclerophyllodrys*

- Hábitat: Terrenos soleados, secos y pedregosos, calizos o con menor frecuencia silíceos (en Aragón se encuentra exclusivamente en calizas y también en yesos), donde constituye matorrales densos e intrincados, que en muchos casos son formaciones secundarias (coscojares y garrigas) resultantes de encinares quemados, talados o degradados. Forma parte de matorrales mediterráneos, tanto permanentes como subseriales de carrascas y quejigales, en compañía de la sabina negra, el enebro, el lentisco, el romero y otras plantas termófilas.
- Preferencia edáfica: Basófila Gipsícola.
- Rango altitudinal: 0-1000(1200)m
- Distribución en PI: Se encuentra en las mitades E y S de la Península y raramente en el resto. Falta de las regiones elevadas de clima continental.
- Corología: Mediterránea. Es autóctona de la región mediterránea, encontrándose principalmente en la zona occidental.
- Distribución en Aragón: Presente en las 3 provincias, siendo más abundante en la Depresión del Ebro que en los Pirineos y el Sistema Ibérico.
- Forma biológica: Fanerófita perennifolio (0,5-2 m) ó Nanofanerófita perennifolio.

* ***Gypsophila struthium* L. (Caryophyllaceae)**

- Hábitat: Es una especie característica de matorrales abiertos, gipsícolas o degradados, a veces nitrófilos, de laderas y cerros yesosos de zonas áridas más o menos continentales. También forma parte de espartales, sabinares negrales o coscojares, pero preferentemente sobre terrenos yesosos. En general sus poblaciones están formadas por abundantes individuos, apareciendo rara vez de forma aislada. En Aragón sólo se encuentra la subespecie *Gypsophila struthium* L. subsp. *hispanica* (Willk.) G. López.
- Preferencia edáfica: Basófila Gipsícola (Prefiere suelos yesosos, aunque también se ha localizado en margas yesíferas, arcillas y limos ricos en sales).
- Rango altitudinal: 130-1230(1500)m
- Distribución en PI: La subespecie *struthium* se localiza en el centro, este y sur mientras que la subespecie *hispanica* sólo se localiza en el cuadrante noreste de la Península Ibérica.
- Corología: Endemismo de la Península Ibérica.
- Distribución en Aragón: Presente en las 3 provincias. Resulta frecuente en la Depresión del Ebro, siendo más rara en el Sistema Ibérico, en los terrenos yesosos de las cuencas del Turia y Alfambra y puntos aislados en áreas con yesos, y en Prepirineos.
- Forma biológica: Caméfito sufruticoso.

2.3. Estudio de rasgos funcionales con base en la supervivencia de *Quercus coccifera* L. en sustratos de yesos de desulfuración

La primera parte del trabajo se centra en realizar una revisión de los principales estudios hasta la fecha relativos a rasgos funcionales para coscoja con el fin de tratar de entender los factores asociados a una alta supervivencia de dicha especie en su establecimiento sobre un sustrato yesífero.

Para ello, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de artículos científicos, con el objetivo de recopilar todos los atributos posibles de rasgos funcionales para la especie *Quercus coccifera* L. También se han incluido los datos de rasgos funcionales que se han facilitado por parte de los responsables del proyecto TRY database.

Try database es un proyecto que comenzó en 2007 con el objetivo de recopilar la información de diferentes bases de datos de todo el mundo de rasgos funcionales de plantas, agrupándolos en una sola base de datos. Actualmente contiene más de 5 millones de datos de 1100 rasgos funcionales. Incluye rasgos funcionales de unas 100000 especies, tanto publicados como algunos no publicados.

Toda esta información ha sido estandarizada y revisada y está disponible para todos aquellos proyectos científicos que la soliciten a través de su web. Esta iniciativa fue diseñada y está siendo desarrollada y mantenida por el Instituto Max Planck de Biogeoquímica.

La revisión bibliográfica se ha llevado a cabo a través de dos bases de datos de publicaciones científicas, Scopus e Web of Knowledge (WOK) y, por tanto, todos los artículos que se han

utilizado en esta revisión son SCI, es decir, artículos de calidad indexados en esas bases de datos.

Posteriormente, a través del programa RefWorks, que es un programa de gestión bibliográfica en entorno web, se han importado todos los artículos de interés para el estudio y se han eliminado los artículos que estaban duplicados.

A medida que se han revisado los artículos, se han recopilado los atributos de cada rasgo funcional en una tabla Excel cuya estructura es una adaptación de la clasificación de rasgos funcionales de Pywell et al. (2003), que contiene 8 grupos de tipos de rasgos funcionales. A continuación, se muestra el esquema básico de dicha tabla.

GRUPOS DE RASGOS FUNCIONALES	RASGOS FUNCIONALES	ESPECIFICACIONES	ATRIBUTO	UNIDADES DE MEDIDA	TIPO DE DATO	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
1. Forma vital e historia						
2. Fenología						
3. Regeneración						
4. Biología de semilla						
5. Interacción con el medio						
6. Interacción con otras plantas						
7. Morfología						
8. Fisiología						

Tabla 1: Estructura básica de la tabla utilizada para la clasificación de los rasgos funcionales recopilados durante la revisión bibliográfica (adaptación de la clasificación de Pywell). Fuente: elaboración propia.

Una vez terminada esta tabla se han seleccionado aquellos grupos de rasgos funcionales que aportan mayor cantidad de información, de manera que la tabla definitiva está formada únicamente por 4 grupos de rasgos funcionales: biología de la semilla, asociaciones ambientales, fisiología y morfología. En cada fila de la tabla hay un atributo de un rasgo funcional acompañado de información complementaria: nombre del rasgo funcional, especificaciones (p.e. condiciones ambientales en las que se ha medido un rasgo funcional), unidades de medida, tipo de atributo (muestra simple, media o rango) y la referencia o referencias bibliográficas de donde se ha extraído esa información.

Debido a las dimensiones de la tabla, se ha optado por no incluirla en este documento, adjuntándola al trabajo en un archivo Excell. A partir de esta, se ha elaborado una tabla resumen que es sobre la que se ha trabajado a posteriori y que se incluye en el Anexo II. Para elaborar dicha tabla, se ha homogeneizado toda la información recopilada. Todos los atributos de cada rasgo funcional se han pasado a las mismas unidades de medida y se ha calculado su promedio.

Así, la tabla resumen contiene los mismos apartados y está dividida en los mismos 4 grupos que la tabla a partir de la cual se ha construido, pero sólo tiene un atributo para cada rasgo funcional, que es el promedio.

Además, en la columna de las fuentes bibliográficas se ha sustituido las referencias bibliográficas de las que se han extraído los rasgos funcionales por tres tipos de fuentes bibliográficas: artículos científicos (A.C.), en la que se incluyen los atributos que se han extraído de artículos científicos procedentes de la revisión bibliográfica, TRY database (TRY), donde se incluyen los atributos procedentes de dicha base de datos, y datos propios (D.P.), que recoge aquellos atributos de varios rasgos funcionales que se han calculado en este trabajo. De esta manera se ha conseguido simplificar la tabla con la que se va a trabajar y se ha reducido su tamaño.

Una vez terminada esta tabla resumen, se ha procedido a su análisis e interpretación, con el objetivo de conocer el resultado de la revisión bibliográfica. Para ello se ha elaborado una tabla en la que se recogen el número de rasgos funcionales que contiene cada grupo, así como el número de rasgos funcionales aportados por las diferentes fuentes bibliográficas y una serie de porcentajes que se han calculado a partir de los datos anteriores. Estas tablas se pueden consultar en la sección de Resultados.

Por último, se han extraído de la tabla resumen atributos de tres rasgos funcionales morfológicos de plántulas de *Q. coccifera* (superficie foliar específica, superficie foliar y altura) para los cuáles también disponíamos de valores medidos en el estudio de García (2015) para los individuos de la plantación experimental de la mina. Así, comparando los atributos bibliográficos de estos tres rasgos funcionales con los medidos en la plantación experimental se pretende conocer que estrategias están desarrollando las plántulas de la plantación experimental para su supervivencia así como qué factores ambientales que están actuando como limitantes para el desarrollo de dichas plántulas.

2.4. La calidad de semilla como rasgo funcional

En la segunda parte del trabajo, se ha llevado a cabo un estudio experimental de calidad de bellotas de la especie *Quercus coccifera* L. para conocer la viabilidad de las bellotas de la población local de la cual se han recolectado.

La calidad de la semilla o en nuestro caso de las bellotas se aplica a diferentes propiedades de las mismas, pero se podría definir como su capacidad para dar lugar a plántulas de crecimiento vigoroso y aspecto normal. No obstante, en el presente estudio la calidad de las bellotas recolectadas se ha evaluado centrando el análisis únicamente en su capacidad de germinación. Según algunos autores cabe distinguir entre dos tipos de calidad: la fisiológica y la genética. La calidad genética en el caso de especies forestales, trata de buscar las semillas cuyos genes sean más idóneos para una determinada repoblación. Para ello se selecciona según su procedencia, obteniéndose las semillas de rodales o de árboles padres. Por otra parte, la calidad fisiológica de las semillas hace referencia a que se encuentren en un estado fisiológico óptimo. Esta calidad valora los factores siguientes: pureza, poder de generación, valor real, peso específico y facultad germinativa (Pérez López, 2008). Por tanto, se ha evaluado la calidad fisiológica de las bellotas a través de su capacidad germinativa.

Este rasgo funcional ha sido poco o nada estudiado para el caso de la coscoja, al contrario que en otras especies del género *Quercus*, como *Quercus ilex* L. (encina), para la cual sí que hay más datos, tal y como se ha podido comprobar en la revisión bibliográfica.

Para este estudio se han seleccionado plantas madre de coscoja con genotipo local, con la visión de aumentar el éxito de una posible siembra para la restauración de la mina con bellotas de plantas madre ubicadas en su entorno, asegurando así su calidad genética para la revegetación.

Se han recolectado bellotas procedentes de 10 plantas madre seleccionadas al azar. Dicha recolección se llevó a cabo, durante el mes de octubre de 2014, por el grupo de trabajo del proyecto de restauración de la mina. Esas 10 plantas se marcaron con etiquetas y se guardaron las coordenadas gps en las que se ubicaban con el objetivo de relocatearlas con precisión en la zona de recolección. Las bellotas recolectadas de cada planta madre se han conservado por separado, en condiciones óptimas de frío (4°C) y poca humedad.

En la Tabla 2, se pueden ver en negrita las precipitaciones mensuales y la temperatura máxima y mínima de cada mes del ciclo fenológico durante el que se han formado las bellotas recolectadas, medidas en la estación meteorológica de Andorra, así como sus anomalías con respecto a su promedio mensual. Además, se han incluido todos los datos disponibles en la web, que abarcan desde el año 2012 hasta 2015, aunque este último año se ha descartado por ser posterior a la recolección. Como se puede observar en dicha tabla, *Q. coccifera* tiene un ciclo fenológico de 2 años, es decir, que florece en abril-mayo y las bellotas maduran a lo largo de su segundo año (Polunin, 1982).

	Precipitación mensual (mm.)	Anomalía de precipitación mensual respecto promedio climatológico mensual (mm.)	Temperatura máxima absoluta mensual (°C)	Temperatura mínima absoluta mensual (°C)	Anomalía de la temperatura media mensual respecto promedio climatológico mensual (°C)
2012					
Enero	7,40	-18,10	16,50	-4,30	-0,20
Febrero	1,60	-18,21	17,70	-7,20	-4,40
Marzo	21,90	-5,47	24,70	1,10	0,64
Abril	25,80	-19,32	26,00	0,10	-1,24
Mayo	14,70	-48,59	33,40	4,20	1,49
Junio	16,80	-25,86	36,90	10,10	1,93
Julio	32,20	10,40	36,00	9,80	-1,65
Agosto	4,80	-25,89	37,90	11,30	1,10
Septiembre	15,00	-24,67	30,00	8,10	0,38
Octubre	82,20	41,43	-	-	0,82
Noviembre	36,40	7,58	16,80	-2,20	-0,93
Diciembre	1,80	-27,98	19,10	-2,80	0,60
2013					
Enero	32,60	7,13	18,10	-0,60	1,11
Febrero	28,60	8,79	16,60	-4,50	-2,73
Marzo	59,40	32,03	20,50	-1,40	-1,40
Abril	72,60	27,48	24,50	-0,20	-1,33
Mayo	59,00	0,50	25,70	4,40	-2,31
Junio	34,20	-4,50	30,40	7,20	-2,77
Julio	50,50	33,30	33,60	14,70	-0,05

Agosto	13,40	-15,60	34,90	11,80	-1,90
Septiembre	8,40	-28,90	28,80	9,10	-0,42
Octubre	1,20	-39,00	29,30	3,30	1,72
Noviembre	57,80	27,50	22,90	-3,80	-0,70
Diciembre	10,60	-12,40	14,20	-2,90	-1,60
2014					
Enero	24,00	-0,30	15,80	0,00	1,72
Febrero	23,60	1,80	18,50	-1,40	-0,63
Marzo	22,00	0,90	20,60	-0,10	-1,82
Abril	32,20	-10,40	22,60	6,10	2,50
Mayo	39,80	-18,70	26,50	4,60	-1,87
Junio	40,00	1,30	33,60	8,60	-0,80
Julio	17,40	0,20	34,40	10,50	-2,10
Agosto	32,00	3,00	34,60	11,50	0,00
Septiembre	39,20	1,90	32,30	9,10	1,10
Octubre	0,20	-77,30	27,40	9,80	2,44
Noviembre	79,80	49,50	20,70	2,60	0,34
Diciembre	15,40	-7,60	13,30	-3,40	-1,27

Tabla 2: Datos climatológicos recogidos en la estación meteorológica de Andorra (temperatura y precipitaciones mensuales) junto con sus anomalías con respecto al promedio mensual.

Fuente: IAEST

Posteriormente a la recolección, se ha llevado a cabo un *screening* de esas bellotas con el objetivo de establecer tres grupos de tamaño según su peso. Para ello se ha pesado un tamaño de muestra de 1500 bellotas, seleccionadas al azar de entre todas las recolectadas, en una balanza de precisión de cuatro decimales. Con los datos recogidos se ha llevado a cabo un análisis estadístico, que está explicado con detalle en el apartado 2.6., para establecer los límites de peso de los tres grupos de tamaño de bellota (grandes, medianas y pequeñas). Por último, se ha procedido a pesar de nuevo cada una de esas bellotas y a clasificarlas de acuerdo a su peso en los tres grupos de tamaño establecidos.

También se ha llevado a cabo la caracterización de las 10 plantas madre de las que se han recolectado las bellotas, a través de un análisis de componentes principales (PCA) para el cual se han medido 5 rasgos funcionales de cada planta madre: biovolumen, peso medio de las bellotas recolectadas y porcentaje de bellotas pequeñas, medianas y grandes. Todos estos rasgos funcionales de cada planta madre se han agrupado en una tabla o matriz que posteriormente se ha utilizado para el PCA que se explica detalladamente en el apartado 2.6.

Para el cálculo del rasgo funcional de biovolumen se ha medido con ayuda de un metro la altura y diámetro de todas las planta madre de las que se han recolectado bellotas. El biovolumen se ha determinado con la fórmula de Phillips & McMahon. Con esta fórmula, el volumen de la planta se evalúa teniendo en cuenta los arbustos como un esferoide achatado (una elipse girada sobre su eje menor):

$$V = \frac{(\pi a^2 b)}{6}$$

siendo “a” el eje menor (ya sea la altura o el diámetro medios, lo que sea menor) y “b” el eje mayor (altura o diámetro medios, el que sea mayor) (Phillips and Macmahon, 1981).

A continuación, se han realizado los ensayos de germinación para determinar la calidad de las bellotas recolectadas. Se ha optado por no aplicar ningún pretratamiento de ruptura de dormancia, ya que lo que se pretende es conocer el porcentaje de germinación natural. Dichos ensayos se han llevado a cabo por grupos de tamaño. En total, se han sembrado 300 bellotas, 100 de cada grupo de tamaño (grandes, medianas y pequeñas). Así, para cada grupo de tamaño se han preparado 4 réplicas de 25 semillas cada una. Las bellotas se han sembrado en bandejas con turba y se han introducido en dos cámaras de germinación bajo las mismas condiciones ambientales controladas de temperatura y humedad, cuyos valores a lo largo del periodo de germinación se pueden consultar en la Tabla 3.

Los ensayos han tenido una duración de 30 días y se han llevado a cabo durante el mes de diciembre de 2014 y enero de 2015 en las cámaras de germinación del laboratorio de ecología de la Escuela Politécnica Superior de Huesca, tras haber realizado el *screening* de las bellotas en estas mismas instalaciones.

La medición de la temperatura y la humedad se ha llevado a cabo mediante la instalación de un termo higrómetro en el interior de las cámaras de germinación. La monitorización del periodo de germinación para el estudio experimental de calidad de semilla se ha establecido en 30 días. En el Anexo V se pueden ver algunas fotos de los ensayos de germinación.

DÍA	CÁMARA	T _a (°C)	Humedad (%)	T _a máx. (°C)	T _a min. (°C)	H. máx. (%)	H. min. (%)
10/12/2014	1	20,9	40	21,1	12,3	40	34
	2	20,9	33	20,9	19,9	36	32
12/12/2014	1	21,4	47	21,8	20,1	49	28
	2	20,3	46	21,8	20,2	47	28
15/12/2014	1	20,3	48	22,5	20	48	32
	2	20,2	33	22,5	20	48	32
18/12/2014	1	21,9	50	22,5	20	50	32
	2	21,1	45	22,5	20	48	32
22/12/2014	1	20,3	48	23,2	19,8	50	32
	2	20,2	48	23,2	19,8	50	32
08/01/2015	1	19,7	32	23,2	18,9	48	32
	2	19,8	33	23,2	18,9	48	32

Tabla 3: Datos de temperatura y humedad registrados en las cámaras de germinación durante la germinación.

Fuente: Elaboración propia.

El criterio seguido para determinar cuándo una bellota ha germinado será el establecido por la ISTA (International Seed Testing Association), según la cual se considera que una bellota ha germinado cuando la longitud de la raíz es mayor de 3 mm.

Tal y como se puede ver en la tabla anterior, las bellotas se han muestreado 6 veces durante el periodo de germinación con el objetivo de comprobar que la temperatura y la humedad se

mantienen y para contabilizar cuántas bellotas han germinado. Cuando una bellota ha germinado, se marca con un rotulador indeleble para no volver a contarla.

Así, se ha podido llevar un control de la germinación a lo largo del tiempo, para calcular algunos rasgos funcionales posteriormente, además de contabilizar el total de bellotas germinadas.

Una vez finalizados estos ensayos de germinación y teniendo todos los datos de su monitorización, se ha procedido al cálculo de varios rasgos funcionales asociados a la germinación. A continuación se enumeran todos los rasgos funcionales que se han calculado en este apartado:

- Porcentaje absoluto de germinación.
- Porcentaje de germinación de bellotas pequeñas.
- Porcentaje de germinación de bellotas medianas.
- Porcentaje de germinación de bellotas grandes.
- Tasa de germinación o velocidad de germinación (T50).
- Tiempo medio de germinación (MGT)
- Tamaño medio de bellota.
- Tamaño máximo de bellota.
- Tamaño mínimo de bellota.
- Tamaño medio de bellotas pequeñas.
- Tamaño medio de bellotas medianas.
- Tamaño medio de bellotas grandes.
- Biovolumen.

El porcentaje absoluto de germinación se ha calculado con el número total de bellotas que han germinado al finalizar del ensayo con respecto al total de bellotas sembradas, mientras que los porcentajes de germinación de bellotas pequeñas, medianas y grandes se han calculado con el número de bellotas de cada uno de esos tamaños que han germinado con respecto al total de bellotas que se han sembrado de cada tamaño.

Por otra parte, el tamaño medio de bellota es el promedio de los pesos de todas las bellotas recolectadas, el tamaño máximo y mínimo son los pesos de la bellota más grande y la más pequeña del total de bellotas recolectadas y el tamaño medio de bellotas pequeñas, medianas y grandes son el promedio de los valores máximos y mínimos de los rangos de cada grupo de tamaño de bellotas.

Por último, la tasa de germinación (T50) también conocida como velocidad de germinación, es el número de días que se necesitan para conseguir el 50% de la capacidad germinativa de un lote de bellotas y se ha calculado por interpolación a partir de algunos de los datos obtenidos en el seguimiento del ensayo de germinación, mientras que el tiempo medio de germinación (MGT) se calcula también a partir de los datos obtenidos en los recuentos de las semillas germinadas cada día de muestreo a lo largo del ensayo de germinación desde la siembra hasta el recuento final cuando termina el ensayo, utilizando la fórmula que se muestra a continuación:

$$TMG = \frac{\sum(N_i \cdot D_i)}{\sum N_i}$$

donde N_i es el número de semillas germinadas en el día D_i ; D_i es el tiempo transcurrido en días desde la siembra (Rodríguez I., 2008).

Todos los rasgos funcionales de *Q. coccifera* que se han calculado en este apartado del trabajo se han incluido posteriormente en la tabla resumen como datos propios.

2.5. Comparación de los rasgos funcionales de *Quercus coccifera* L. y *Gypsophila struthium* L.

La última parte del trabajo consiste en comparar la especie objeto de nuestro estudio (*Q. coccifera*) con la especie *Gypsophila struthium*, a nivel de biología de semilla. Para ello se han seleccionado 12 rasgos funcionales que están relacionados con el tamaño de semilla y con su calidad (capacidad germinativa).

Los rasgos funcionales relacionados con tamaño de semilla son el tamaño medio de semilla, el tamaño máximo y mínimo de semilla y el tamaño medio de semillas grandes, pequeñas y medianas. Por otra parte los rasgos funcionales relacionados con la capacidad germinativa de las semillas son el porcentaje absoluto de germinación, los porcentajes de germinación de semillas grandes medianas y pequeñas, la velocidad de germinación (T50) o tiempo necesario para obtener el 50% de la capacidad germinativa del lote y el tiempo medio de germinación (MGT), calculado a partir de recuentos de semillas germinadas cada día de muestreo a lo largo del ensayo de germinación desde la siembra hasta el recuento final del ensayo.

Para la especie *Q. coccifera* todos los rasgos funcionales utilizados en este apartado son datos propios calculados tras realizar el screening de las bellotas y los ensayos de germinación, mientras que para *G. struthium* se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica para recopilar atributos de esos mismos rasgos funcionales.

Una vez recopilada la información, se ha elaborado una tabla comparativa que recoge los atributos de esos 12 rasgos funcionales para cada especie y que consta de tres columnas: en la primera aparece el nombre de cada rasgo funcional y en las otras dos columnas se recogen los atributos de cada rasgo funcional para cada una de las dos especies.

La tasa de germinación (T50) y el tiempo medio de germinación (MGT) están medidos en días mientras que los rasgos funcionales relacionados con tamaños de semilla están medidos en gramos, de manera que las unidades de medida de cada rasgo funcional están homogeneizadas para las dos especies consideradas con el objetivo de ser comparables.

2.6. Análisis estadísticos

Para realizar el screening de las bellotas, se ha llevado a cabo un análisis k-means en el que se recogen los pesos de cada bellota recolectada. Como resultado se han generado tres grupos de tamaño (bellotas grandes, medianas y pequeñas), estableciéndose los tamaños umbrales para cada grupo.

El análisis k-means se ha realizado a través de la aplicación estadística Ginkgo de B-VegAna (Análisis de Vegetación y de Biodiversidad), que es un sistema integrado orientado al almacenamiento, gestión y análisis de datos ecológicos.

Este sistema incluye diez aplicaciones que pueden ser ejecutados independientemente, proporcionando diferentes herramientas para el análisis estadístico de la flora y la vegetación. De todas ellas sólo se ha utilizado Ginkgo, que es una aplicación desarrollada en Java y que permite realizar de forma sencilla métodos de análisis estadísticos multivariante.

El método de K-means es una técnica multivariante de tipo aglomerativo que permite agrupar los casos o variables de un archivo de datos en función del parecido o similaridad existente entre ellos, generando varios grupos o conglomerados homogéneos.

Es un tipo de análisis de conglomerados (cluster analysis) que permite procesar un número ilimitado de casos, pero sólo permite utilizar un método de aglomeración y requiere que se proponga previamente el número de conglomerados que se desea obtener. Este método de agrupación de casos se basa en las distancias existentes entre ellos en un conjunto de variables y es especialmente útil cuando se dispone de un gran número de casos.

La aplicación estadística comienza seleccionando los K casos más distantes entre sí (previamente se han determinado el número K de conglomerados que desea obtener). Y a continuación se inicia la lectura secuencial del archivo de datos asignando cada caso al centro más próximo y actualizando el valor de los centros a medida que se van incorporando nuevos casos. Una vez que todos los casos han sido asignados a uno de los K conglomerados, se inicia un proceso iterativo para calcular los centroides finales de esos K conglomerados.

Por otra parte, se han llevado a cabo dos análisis de componentes principales (PCA), uno para la caracterización de las plantas madre de *Q. coccifera* y otro para la comparación de los rasgos funcionales de biología de semilla de *Q. coccifera* y *G. struthium*. Ambos PCA se han elaborado a través de la aplicación estadística Ginkgo.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) es una técnica estadística de síntesis de la información y de ordenación. También es considerado como una técnica estadística descriptiva que tiene como punto de partida una matriz de datos con una serie de individuos a los que se les ha medido varias variables. Por eso suele clasificarse como una técnica multivariante. Los componentes principales generados en el análisis son una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí (Gurrea M., 2000).

Para llevar a cabo el PCA para la caracterización de las plantas madre de *Q. coccifera* con la aplicación Ginkgo, se ha introducido una tabla o matriz que recoge los objetos, que son las 10 plantas madre de las que se han recolectado bellotas, y las variables, que son 5 rasgos funcionales de cada planta madre que se han calculado anteriormente en este trabajo (datos propios): biovolumen, peso medio de las bellotas y porcentaje de bellotas pequeñas, medianas y grandes.

Por otra parte, se ha realizado otro PCA para la comparación de algunos de los rasgos funcionales de biología de semilla de las especies *Q. coccifera* y *G. struthium*. En este caso se ha introducido en la aplicación Ginkgo una matriz en la que se recogen las variables, que son

12 rasgos funcionales con sus respectivos atributos para cada una de las especies, que son los objetos.

Se ha predeterminado que el programa estadístico muestre todos los autovalores (EV) y que estandarice las variables. Una vez que la aplicación ha calculado los valores de los componentes principales tanto para las variables como para los objetos, se han elaborado los respectivos biplots de correlación del PCA, a través del editor gráfico, para ordenar todos estos elementos en un espacio imaginario y así poder interpretar gráficamente los resultados del análisis estadístico.

También se ha llevado a cabo un análisis estadístico para interpretar los resultados obtenidos en los ensayos de germinación que se han realizado con las bellotas recolectadas de *Q. coccifera*. Este análisis estadístico se ha llevado a cabo con los datos del número total de bellotas germinadas y el tiempo medio de germinación. El programa estadístico utilizado ha sido SPSS.

En primer lugar se ha elaborado una tabla en la que se recogen los casos y las variables de estudio. Los casos corresponden a cada una de las réplicas de los ensayos de germinación, que son 12 en total, mientras que las variables son dos: el número total de bellotas germinadas y el tiempo medio de germinación de cada réplica. Cada fila de esa tabla es un caso mientras que en cada columna se recogen los valores de las variables para cada caso.

Esta tabla en la que se recogen el número de bellotas germinadas y el tiempo medio de germinación de cada réplica se ha introducido en el programa estadístico SPSS como matriz sobre la que se van a realizar los análisis estadísticos. Una vez que se ha introducido la matriz en el SPSS se ha procedido a la identificación de datos atípicos.

Posteriormente se ha comprobado a través del test de Shapiro-Wilk que el conjunto de datos del número total de bellotas germinadas no sigue una distribución normal. Se ha utilizado este test porque el tamaño de muestra es menor de 50. Por tanto, se ha optado por utilizar la prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes, que es un test no paramétrico que se ha empleado de cara a determinar si estadísticamente hay diferencias significativas entre los tres grupos de tamaño en relación con el número de bellotas germinadas.

Por otra parte, para el conjunto de datos del tiempo medio de germinación también se ha llevado a cabo un test de Shapiro-Wilk, ya que el tamaño de muestra también es menor de 50, comprobándose que este conjunto de datos presenta una distribución normal. Posteriormente se ha llevado a cabo un test de Levene con el cual se ha comprobado que también es homocedástico ya que la significancia también es mayor de 0,05 (tabla 6). En consecuencia se ha llevado a cabo un test ANOVA (paramétrico). Dentro del test ANOVA se ha realizado un test de Tukey (post hoc) de comparaciones por parejas entre los 3 grupos de tamaño de bellotas para ver si estadísticamente hay diferencias significativas entre dichos grupos en relación con sus tiempos medios de germinación.

3. RESULTADOS:

3.1. Estudio de rasgos funcionales con base en la supervivencia de *Quercus coccifera* L. en sustratos de yesos de desulfuración

En este apartado se van a exponer los resultados obtenidos en la búsqueda bibliográfica de rasgos funcionales de *Quercus coccifera* L. La tabla resumen en la que se ha recopilado toda la información se puede consultar en el Anexo II.

A continuación, se incluyen dos tablas en las que se recogen algunos datos descriptivos de la tabla resumen, que nos van a permitir analizar la información contenida en ella.

GRUPOS DE RASGOS FUNCIONALES	Nº RASGOS FUNCIONALES	% RASGOS FUNCIONALES
Biología de semilla	25	8,53
Asociaciones medioambientales	41	13,99
Morfología	88	30,03
Fisiología	139	47,44
TOTAL RASGOS FUNCIONALES	293	

Tabla 4: Datos descriptivos de la información que se recoge en cada grupo de la tabla resumen.

Fuente: Elaboración propia.

$\% \text{ DE RASGOS FUNCIONALES} = (\text{nº de rasgos funcionales incluidos en un grupo}/\text{total rasgos funcionales}) * 100$

En la tabla anterior, para cada grupo de rasgos funcionales de la tabla resumen se incluye el número de rasgos funcionales que contiene y su correspondiente porcentaje con respecto al total de rasgos funcionales.

Se han recopilado un total de 293 rasgos funcionales, entre la información aportada por el proyecto TRY database, la revisión bibliográfica de artículos científicos y los datos propios de rasgos funcionales calculados en este trabajo.

La mayor parte de esta información se reparte principalmente entre dos de los cuatro grupos de rasgos funcionales, morfología y fisiología, siendo este último el más numeroso, ya que contiene aproximadamente la mitad de todos los rasgos funcionales recopilados.

La cantidad de información que contienen los otros dos grupos de rasgos funcionales, asociaciones medioambientales y biología de semilla, es notablemente menor, siendo este último el grupo con menor número de rasgos.

No obstante, se ha decidido mantener ambos grupos en la tabla resumen por la importancia de ambos tipos de rasgos funcionales en este estudio, tanto los relacionados con las semillas como los que muestran las características ambientales del entorno en el que se desarrolla la planta.

La pequeña diferencia entre el número total de rasgos funcionales (Tabla 4) y el total de rasgos funcionales aportados por todas las fuentes bibliográficas (Tabla 5) es debida a que, en algunos casos, para un mismo rasgo funcional hay varias fuentes que aportan información.

En la Tabla 5, se incluye el número de rasgos funcionales que aportan cada una de las tres fuentes bibliográficas a cada grupo, lo que nos permite tener una idea de cuál es el peso de cada una de ellas en los distintos grupos.

También se recoge el porcentaje total de información aportada por cada fuente, calculado con respecto al total de rasgos funcionales aportados por todas las fuentes y el porcentaje de información aportada por cada fuente a cada grupo, calculado con respecto al total de rasgos funcionales aportados a cada grupo.

Tal y como se puede ver en la Tabla 5, las fuentes bibliográficas que se han tenido en cuenta para el análisis son las tres que aparecen en la tabla resumen: TRY database (TRY), artículos científicos (A.C.) y datos propios (D.P.).

En dicha tabla, se puede apreciar que la mayor parte de la información recogida en la tabla resumen, un 77,63% de la misma, procede de la revisión bibliográfica de artículos científicos. El resto de información procede en gran medida de la base de datos de TRY, ya que los datos propios sólo representan un 5,26% del total de rasgos funcionales recopilados.

Por otra parte, si observamos el porcentaje de información aportado por cada fuente a cada grupo, con respecto al total de rasgos funcionales aportados a cada grupo, se puede apreciar que en todos los grupos la fuente bibliográfica que más peso tiene son los artículos científicos, seguidos de TRY database, excepto en el grupo de biología de semilla.

En este grupo, la mayor parte de la información procede de los datos propios (57,69%), seguida de la información aportada por los artículos científicos, que también tiene un peso importante con un 38,46%.

GRUPOS DE RASGOS FUNCIONALES	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	Nº DE RASGOS FUNCIONALES APORTADOS POR CADA FUENTE	% DE INFORMACIÓN APORTADA A CADA GRUPO
Biología de semilla	TRY database	1	3,85
	Artículos científicos	10	38,46
	Datos propios	15	57,69
	TOTAL	26	-
Asociaciones medioambientales	TRY database	5	12,19
	Artículos científicos	36	87,80
	Datos propios	0	0
	TOTAL	41	-
Morfología	TRY database	36	37,50
	Artículos científicos	59	61,46
	Datos propios	1	1,04
	TOTAL	96	-
Fisiología	TRY database	10	7,09
	Artículos científicos	131	92,91
	Datos propios	0	0
	TOTAL	141	-
TOTAL RASGOS FUNCIONALES APORTADOS	TRY database	52	17,11*
	Artículos científicos	236	77,63*
	Datos propios	16	5,26*
	TOTAL	304	-

Tabla 5: Datos descriptivos de la información aportada a la tabla resumen por cada tipo de fuente bibliográfica considerada. Fuente: Elaboración propia.

% DE INFORMACIÓN APORTADA A CADA GRUPO= (nº de rasgos funcionales aportados por una fuente a un grupo/total rasgos funcionales aportados a ese grupo)*100

* % TOTAL DE INFORMACIÓN APORTADA POR CADA FUENTE= (nº total de rasgos funcionales aportados por una fuente/total de rasgos funcionales aportados)*100

En relación a los resultados obtenidos tras comparar los atributos extraídos de la bibliografía y los medidos en la plantación experimental para los rasgos funcionales morfológicos de superficie foliar, superficie foliar específica y altura, cabe destacar que todos ellos son inferiores en las plántulas de la plantación experimental, lo que nos indica que el desarrollo de dichas plántulas está siendo limitado por determinados factores ambientales como pueden ser la composición química y la estructura del suelo, los recursos hídricos disponibles o la radiación solar incidente. No obstante, mientras que la altura de las plántulas es bastante similar tanto en la bibliografía como en los individuos de la plantación, en el caso de la superficie foliar y la SLA la diferencia es más acusada, tal y como se puede apreciar en la Tabla 6.

RASGOS FUNCIONALES	BIBLIOGRAFÍA	PLANTACIÓN
Superficie foliar (cm²)	2,7	1,3
Superficie foliar específica (SLA) (cm²/g)	54,7	48,5
Altura (cm)	26,1	25

Tabla 6: Atributos procedentes de la revisión bibliográfica y de mediciones en la plantación experimental de cada rasgo funcional. Fuente: Elaboración propia.

3.2. Estudio de la calidad de semilla de *Quercus coccifera* L.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en el estudio de calidad de semilla de las bellotas recolectadas de plantas madre de la especie *Quercus coccifera* L., ubicadas en la zona próxima a la mina. En el primer apartado se recoge la caracterización de las plantas madre mientras que en el segundo aparecen los resultados obtenidos en los ensayos de germinación.

Este estudio de calidad de semilla se ha realizado por dos motivos. En primer lugar, se quiere conocer la viabilidad de las bellotas de las manchas de coscoja del entorno de la mina Corta Barrabasa, para su posible utilización en su restauración. Por otra parte, a partir de los resultados de este estudio de calidad de semilla se han calculado una serie de rasgos funcionales que se han incluido posteriormente dentro del grupo de biología de semilla. Así, se aportan nuevos rasgos funcionales a este grupo, que se ha comprobado en la revisión bibliográfica que es uno de los menos estudiado para la coscoja.

3.2.1. Caracterización de las plantas madre de *Quercus coccifera*

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de las plantas madre de *Q. coccifera* de las cuales se han recolectado las bellotas para el estudio.

En primer lugar se muestran algunos de los outputs generados por Ginkgo, así como los parámetros de configuración que se han predeterminado para llevar a cabo el análisis k-means con el que se han establecido los grupos de tamaño de bellota:

- * Número de objetos: 1497
- * Número de variables: 1
- * Modo de inicialización: bellota aleatoria
- * Número de grupos: 3
- * Número de vueltas aleatorias: 20
- * Mejor vuelta: 1

Tiempo transcurrido (ms): 369

Los objetos son las bellotas, que se han pesado con anterioridad, la variable es el peso de cada bellota, el modo de inicialización hace referencia a la manera en que el programa estadístico comienza a realizar el análisis, que en este caso es con el peso de una bellota seleccionada al azar. Además, se ha preestablecido que se generen 3 grupos de bellotas en función de su peso, que se repita el análisis 20 veces y que finalmente se muestre sólo el mejor resultado, que en este caso es el primero.

En la Tabla 7 se muestran los tres grupos de tamaño de bellota junto con sus respectivos rangos de peso, que se han obtenido en el análisis k-means llevado a cabo a partir de los datos del pesaje de las bellotas recolectadas. Una vez establecidos esos rangos de peso, las bellotas se han clasificado en uno de los tres grupos de tamaño según su peso. En dicha tabla, además de los grupos y el rango de tamaño de cada uno de ellos, también se incluye el rango de tamaño definitivo que es el mismo que el anterior pero simplificado con un solo decimal y el número de bellotas recolectadas que se incluyen en cada grupo.

Grupo	Numero bellotas	Rango tamaño (g)	Rango tamaño def
1 (pequeñas)	680	< 3,0896	< 3,0
2 (medianas)	467	3,0896 - 4,8192	3,0 - 4,8
3 (grandes)	350	> 4,8192	> 4,8

Tabla 7: Grupos de tamaño de las bellotas recolectadas. Fuente: Elaboración propia.

Viendo esta tabla se aprecia que en general los individuos de coscoja de nuestra zona de estudio tienen una tendencia de producir mayor cantidad de bellotas de tamaño pequeño, al menos durante el ciclo fenológico que se ha estudiado, que en línea general se puede afirmar que ha sido bastante más seco y con temperaturas algo más bajas que años atrás. Además, han producido un número muy reducido de bellotas de tamaño grande, que en nuestro estudio es casi la mitad del número de semillas producidas de tamaño pequeño.

En la tabla que se muestra a continuación (Tabla 8) se recogen una serie de datos propios de rasgos funcionales, que son el resultado del pesaje y *screening* de las bellotas y de algunas mediciones realizadas en el campo a las plantas madre. Además, es la matriz que se ha introducido en el programa estadístico Ginkgo para la elaboración del PCA.

Para cada planta madre se incluye el biovolumen, que se ha calculado con la fórmula de Phillips & McMahon que aparece en la metodología, el peso medio de sus bellotas recolectadas y el porcentaje de bellotas recolectadas de cada tamaño, calculado a partir del número de bellotas de cada tamaño en relación con el total de bellotas recolectadas de cada planta madre.

plantas madre	peso medio bellotas (g)	% bellotas pequeñas	% bellotas medianas	% bellotas grandes	biovolumen (dm ³)
Qc 1	2,38	91,98	8,02	0,00	7,66
Qc 2	2,14	95,42	4,58	0,00	26,62
Qc 3	1,93	100,00	0,00	0,00	2,10
Qc 4	4,27	14,29	48,98	36,73	13,01
Qc 5	3,56	20,59	76,47	2,94	1,13
Qc 6	2,25	85,42	14,58	0,00	1,35
Qc 7	4,74	7,54	40,20	52,26	6,89
Qc 8	4,29	7,69	64,96	27,35	7,85
Qc 9	2,54	78,57	21,43	0,00	0,24
Qc 10	5,57	1,81	18,18	80	1,74

Tabla 8: Datos propios de rasgos funcionales de las plantas madre seleccionadas en la recolección.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se incluyen outputs generados por el programa estadístico Ginkgo para llevar a cabo el PCA de caracterización de las plantas madre, así como algunos de los parámetros que se han preestablecido:

- * Número de objetos: 10
- * Número de variables: 5
- * Autovalores (Eigen Values): Todos
- * Estandarización de Variables: si

El número de objetos son las 10 plantas madre de las que se recolectaron bellotas, mientras que el número de variables son 5 rasgos funcionales de esas plantas madre, es decir. Además, se ha predeterminado que el programa estadístico muestre todos los autovalores (EV) y que estandarice las variables, es decir, que pase a las mismas unidades de medida todas ellas para poder compararlas estadísticamente.

En la Tabla 9 se recogen los autovalores (EV) que el programa estadístico ha calculado y ordenado de mayor a menor. Para la elaboración del biplot de correlación se ha predeterminado que el programa sólo considere los dos componentes principales cuyos EV sean más altos. Así, el biplot explica el 83,67% de variabilidad.

EV	% Variabilidad	% Variabilidad acumulada
EV-1 3,18	63,7073	63,7073
EV-2 0,99	9,9667	83,6740
EV-3 0,81	16,2533	99,9273
EV-4 3,6·10⁻³	0,0727	100,0000
EV-5 0,0000	0,0000	100,0000

Tabla 9: Autovalores (EV) generados por Ginkgo en el PCA y porcentaje de variabilidad explicado por cada EV.

Fuente: Elaboración propia

Según el criterio de Quinn (2002), para la interpretación del biplot de correlación sólo hay que considerar aquellos EV que son mayores que 1, ya que tal y como se puede ver en la Tabla 9, son los que explican una mayor variabilidad.

Como sólo EV-1 es mayor que 1, únicamente se ha analizado la horizontalidad del biplot de correlación, que corresponde al componente principal pc-1 y que además explica la mayor parte de la variabilidad en nuestro análisis (Tabla 9). Por tanto, el biplot se ha dividido en dos clúster respecto al origen 0,0 para su posterior interpretación.

En las dos siguientes tablas se muestran algunos de los datos generados en el PCA por el programa estadístico Ginkgo (outputs). En la Tabla 10 podemos ver los valores de los dos componentes principales, correspondientes a los autovalores EV-1 y EV-2, que el programa ha calculado para cada planta madre, mientras que en la Tabla 11 se recogen los valores de esos mismos componentes principales que se han calculado para cada variable.

Plantas madre	pc-1	pc-2
Qc 1	-0,91	0,01
Qc 2	-1,17	2,17
Qc 3	-1,1	-0,59
Qc 4	0,74	0,77
Qc 5	0,53	-1,26
Qc 6	-0,79	-0,79
Qc 7	1,03	0,36
Qc 8	0,88	-0,07
Qc 9	-0,61	-0,95
Qc 10	1,39	0,35

Tabla 10: Outputs generados por Ginkgo. Valores de los componentes principales para cada objeto del PCA.

Fuente: Elaboración propia.

Rasgos funcionales	pc-1	pc-2
Peso medio	0,98	0,13
% bellotas pequeñas	-0,99	-0,01
% bellotas medianas	0,69	-0,27
% bellotas grandes	0,85	0,27
Biovolumen	-0,21	0,91

Tabla 11: Outputs generados por Ginkgo. Valores de los componentes principales para cada variable del PCA.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos recogidos en las dos tablas anteriores son los que el programa estadístico Ginkgo ha generado para distribuir, de manera ordenada, las variables y los objetos del PCA en un espacio imaginario en función de los componentes principales pc-1 y pc-2, o lo que es lo mismo, son los valores que se han utilizado para construir el biplot de correlación del PCA.

A continuación se va a proceder a la interpretación del biplot de correlación del PCA que se ha elaborado para la caracterización de las 10 plantas madre de las cuales se han recolectado las bellotas para el estudio de calidad de semilla (Figura 1).

PCA plantas madre *Quercus coccifera* Correlation Biplot

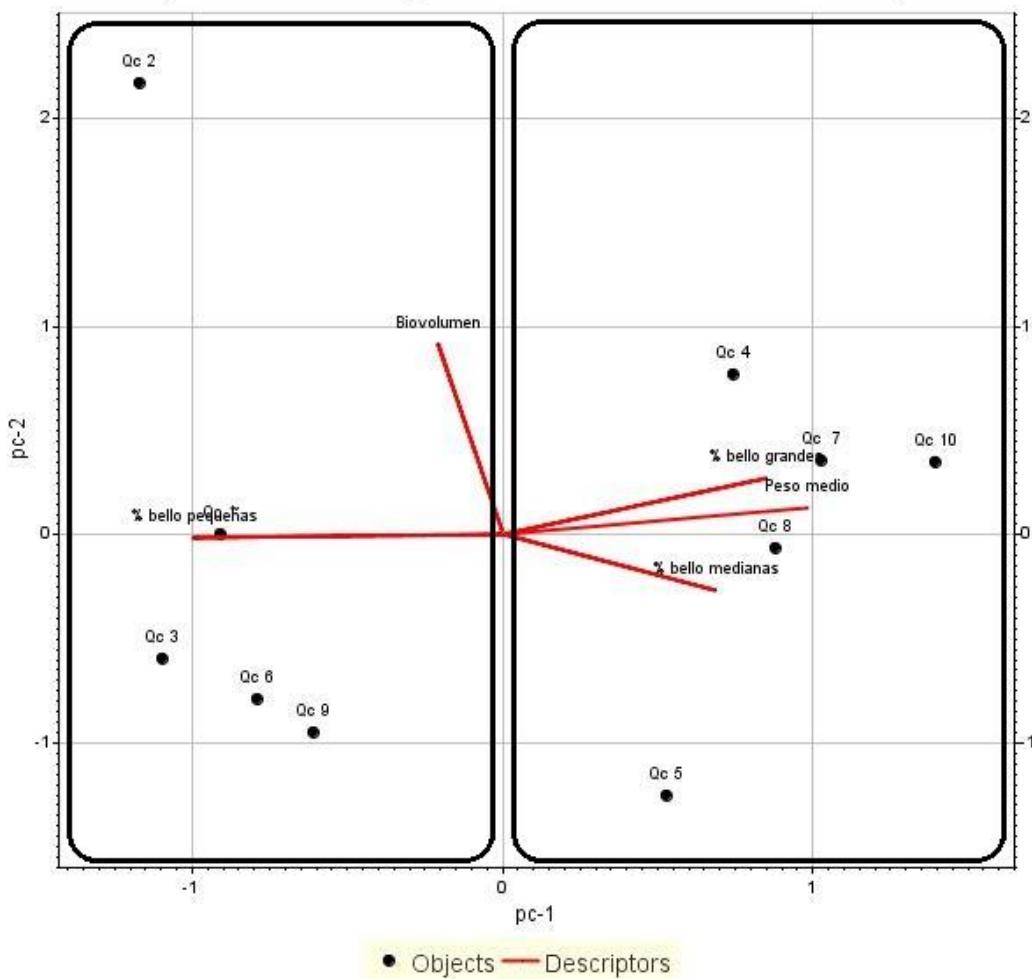


Figura 1: Biplot de correlación del PCA de caracterización de plantas madre de *Quercus coccifera* dividido en 2 clúster. Fuente: Elaboración propia

Atendiendo sólo al componente principal pc-1, que es el único cuyo autovalor (EV) es mayor que uno y que representa el 63,7% de la variabilidad, se puede apreciar que las plantas madre presentan una distribución en dos grupos bastante bien diferenciados, que corresponden con los clúster delimitados en la Figura 1.

Tal y como se puede observar en el biplot, todos los descriptores (rasgos funcionales) están comprendidos en un rango de valores del componente principal pc-1 entre -0,99 y 0,98. Por otra parte, los objetos (plantas madre) se distribuyen en un rango algo mayor de valores del componente principal pc-1, que abarca desde -1,17 hasta 1,39.

Cada uno de los dos grupos que se han establecido abarcan 5 plantas madre del estudio. En el clúster situado a la izquierda con respecto al origen 0,0 se agrupan aquellas plantas madre que se caracterizan por tener un mayor biovolumen. Además, todas esas plantas madre han producido una mayor cantidad de bellotas de tamaño pequeño y, por tanto, el peso medio de sus bellotas es menor en este grupo.

Por otra parte, en el clúster que se ha delimitado a la derecha con respecto al origen 0,0 se agrupan aquellas plantas madre cuyas bellotas tienen un peso medio más elevado y que, por tanto, producen una mayor cantidad de bellotas de tamaño grande y medianas que de pequeño tamaño. Además, las plantas madre que se agrupan dentro de este clúster tienen un biovolumen menor que el resto de plantas madre del estudio.

3.2.2. Ensayos de germinación

A continuación se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de germinación llevados a cabo a partir de las bellotas recolectadas. En primer lugar se muestra un gráfico en el que se representa la evolución temporal de la germinación a lo largo del ensayo.

Dicho gráfico (Figura 2) se ha generado a partir de los datos del seguimiento del ensayo de germinación, tanto para el total de las bellotas como para cada grupo de tamaño, es decir, que se han utilizado los datos del número de bellotas germinadas cada día de muestreo. La tabla a partir de la que se ha construido este gráfico se incluye en el Anexo III.

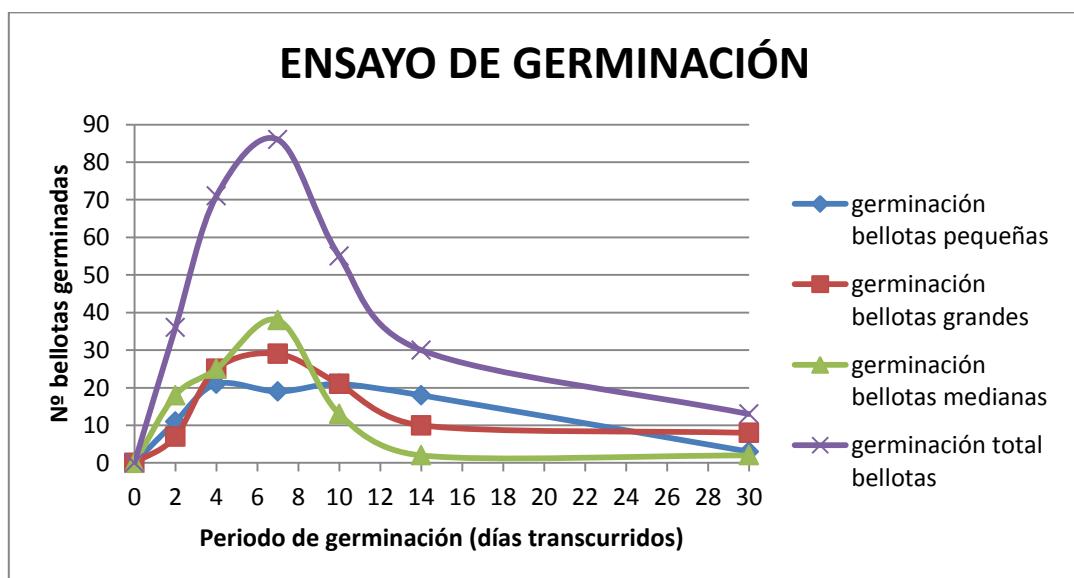


Figura 2: Gráfica de los ensayos de germinación en la que se relaciona el número de bellotas germinadas cada día de muestreo de dicho ensayo con el periodo de germinación o número de días transcurridos desde la siembra.

Fuente: Elaboración propia.

Si nos fijamos en la gráfica de la germinación del total de bellotas, se observa que durante los primeros 12 días del ensayo el número de bellotas germinadas es muy elevado, aumentándose exponencialmente la germinación durante los primeros 5 días del ensayo hasta llegar a un máximo de 86 bellotas germinadas al tercer día de muestreo. A partir de ese momento, el número de bellotas germinadas cada día de muestreo va disminuyendo hasta finalizar el ensayo.

Aunque esta tendencia es similar para los tres grupos de tamaño, las bellotas de tamaño mediano son las que han tenido un mayor pico de germinación durante los primeros 12 días de ensayo, habiendo germinado el 94% de dichas bellotas en ese periodo, seguidas por las bellotas grandes, de las cuales han germinado un 84% en ese mismo periodo. Las bellotas pequeñas también muestran una mayor germinación durante los primeros días del ensayo

pero no tan pronunciada, ya que durante el mismo periodo han germinado un 72% del total de las bellotas pequeñas sembradas.

Esto concuerda con la información aportada por los rasgos funcionales que se han calculado tras realizar los ensayos de germinación y que se recogen en la Tabla 17. En el caso de la velocidad de germinación (T50) se aprecia como las bellotas medianas son las que tardan menos tiempo en alcanzar el 50% de su capacidad germinativa, seguidas por las bellotas grandes y las pequeñas respectivamente.

Si nos fijamos en los valores del tiempo medio de germinación para cada tamaño de bellota, recogidos en la Tabla 14, se ve que es más reducido para las bellotas medianas seguidas de las pequeñas y las grandes. Esto se traduce en que las bellotas medianas que se han sembrado en el ensayo que se ha llevado a cabo han germinado en un periodo de tiempo menor que las bellotas pequeñas y las grandes, lo cual es lógico ya que tienen una mayor velocidad de germinación.

No obstante, el tiempo medio de germinación es mayor para las bellotas grandes que para las pequeñas, a pesar de que las bellotas grandes tardan menos tiempo que las bellotas pequeñas en alcanzar el 50% de su capacidad germinativa. Esto es debido a que algunas de las bellotas grandes han tardado más tiempo en germinar que la mayor parte de ellas, cuya germinación se ha producido durante los primeros días del ensayo y, por tanto, se ha aumentado el tiempo medio de germinación de dicho grupo de tamaño.

A continuación se adjuntan dos tablas en las que se recogen los resultados del test ANOVA que se ha llevado a cabo con los datos del tiempo medio de germinación de cada tamaño de bellota. En la Tabla 12 se recogen los resultados del test de Tukey de comparación por parejas. En los casos en que la significancia es mayor de 0,05 los grupos de tamaño de bellota que se comparan son similares mientras que si la significancia es menor de 0,05 los grupos de tamaño de bellota que se comparan son distintos.

Grupos tamaño bellotas (i)	Grupos tamaño bellotas (j)	Diferencia de medias (i-j)	Significancia
G1	G2	-2,202	0,08
	G3	0,601	0,78
G2	G1	2,202	0,08
	G3	-2,804	0,028
G3	G1	-0,601	0,78
	G2	2,804	0,028

Tabla 12: Resultados del test de Tukey de comparación por parejas de los tres grupos de tamaño de bellota. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en la Tabla 13 se recogen los valores medios del tiempo medio de germinación para cada tamaño de bellota junto con el error típico y los descriptores estadísticos mostrados como superíndices, que muestran los resultados del test de Tukey.

Grupos tamaño bellotas	N (nº réplicas)	Media TMG ± error típico
G1 (pequeñas)	4	8,54 ± 0,89 ^{ab}
G2 (medianas)	4	6,34 ± 0,4 ^a
G3 (grandes)	4	9,15 ± 0,46 ^b
TOTAL BELLOTAS	12	8,01 ± 0,48

Tabla 13: Media del tiempo medio de germinación para cada tamaño de bellota junto con su error típico y los descriptores. Fuente: Elaboración propia.

Con los datos recogidos en la tabla anterior, se puede afirmar que las bellotas medianas y las grandes son estadísticamente distintas en cuanto al tiempo medio de germinación, mientras que las bellotas pequeñas muestran similitudes con respecto a las bellotas grandes y pequeñas, aunque si nos fijamos en su valor medio se asemejan más a las grandes. Por lo tanto, el análisis estadístico confirma todo lo expuesto anteriormente en relación con los tiempos medios de germinación de cada tamaño de bellota.

Todo ello parece indicar que las bellotas medianas son las que germinan más rápido. Por otra parte, las bellotas grandes alcanzan más rápido que las bellotas pequeñas su T50 pero tienen un mayor tiempo medio de germinación.

Rasgos funcionales	Atributos	Unidades de medida
Porcentaje de germinación (GP)	97	%
Porcentaje de germinación (GP): bellotas grandes	100	%
Porcentaje de germinación (GP): bellotas medianas	98	%
Porcentaje de germinación (GP): bellotas pequeñas	93	%
Velocidad de germinación (T50)	5,5	días
Velocidad de germinación (T50): bellotas grandes	5,86	días
Velocidad de germinación (T50): bellotas medianas	4,55	días
Velocidad de germinación (T50): bellotas pequeñas	6,84	días
Tiempo medio de germinación (MGT)	8	días
Tiempo medio de germinación (MGT): bellotas grandes	9,15	días
Tiempo medio de germinación (MGT): bellotas medianas	6,34	días
Tiempo medio de germinación (MGT): bellotas pequeñas	8,5	días
Tamaño medio bellota	3,42	g
Tamaño mínimo bellota	0,68	g
Tamaño máximo bellota	8,32	g
Tamaño medio bellotas pequeñas	1,88	g
Tamaño medio bellotas medianas	3,95	g
Tamaño medio bellotas grandes	6,57	g

Tabla 14: Rasgos funcionales de *Quercus coccifera* calculados a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de germinación. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el porcentaje de germinación del lote completo de bellotas es bastante elevado siendo de casi el 100%. Si nos fijamos en los porcentajes de germinación de cada tamaño de bellota se aprecia que aunque son muy elevados para los tres tamaños de bellota, siendo superiores al 90% en todos los casos, hay cierta diferencia entre las bellotas grandes y medianas y las bellotas pequeñas, cuyo porcentaje de germinación es algo más bajo que para

el resto. A continuación, se incluye un diagrama de caja y bigotes en el cual se muestran los resultados estadísticos de la prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes en la cual se compara el total de bellotas germinadas de cada tamaño.

Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

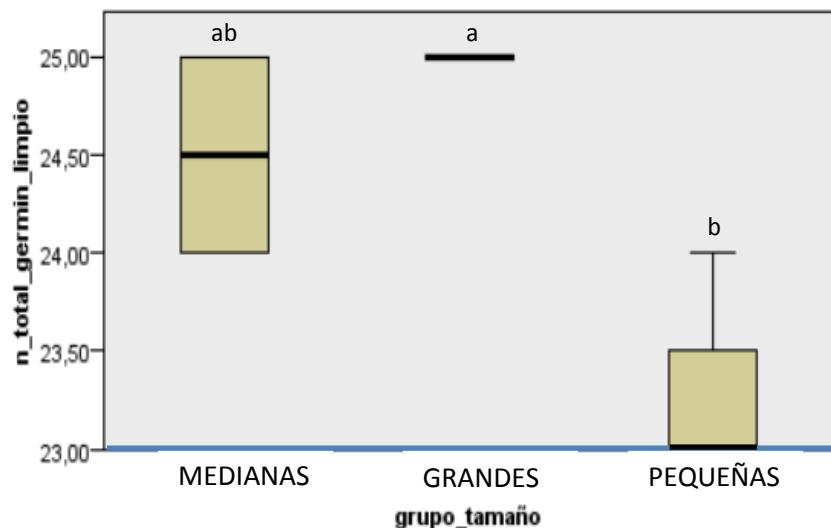


Figura 3: Diagrama de caja y bigotes en el que se recogen los resultados estadísticos de la comparación del nº de bellotas germinadas de cada grupo de tamaño. Fuente: Elaboración propia.

En dicho diagrama se puede apreciar como las bellotas grandes y las bellotas pequeñas son estadísticamente distintas, mientras que las bellotas medianas son similares a las de los otros dos grupos, aunque se asemejan más a las bellotas grandes. Así, el análisis estadístico que se ha llevado a cabo confirma lo expuesto anteriormente en cuanto las diferencias entre los distintos grupos de tamaño de bellota con respecto a su germinación.

En cuanto al tamaño de las bellotas se mueve en un rango muy amplio de aproximadamente 7,6 g, siendo su peso medio de 3,42 g. Los rasgos funcionales relacionados con el tamaño de bellota se pueden consultar en la Tabla 14.

Algunos de los rasgos funcionales que se recogen en dicha tabla son los que se han utilizado en el apartado 3.3. para la comparación a nivel de semilla entre *Q. coccifera* y *G. struthium*.

3.3. Comparación de los rasgos funcionales de *Quercus coccifera* L. y *Gypsophila struthium* L.

En esta parte del trabajo se muestran los resultados obtenidos de la comparación de algunos rasgos funcionales de biología de semilla de *Q. coccifera* y *G. struthium*.

Los rasgos funcionales de *Q. coccifera* que se han utilizado en este apartado son datos propios que se han calculado a partir del *screening* de las bellotas y los posteriores ensayos de germinación, mientras que algunos de los rasgos funcionales de *G. struthium* proceden de revisión bibliográfica y otros son datos experimentales obtenidos en el proyecto de investigación para la restauración de la mina Corta Barrabasa. Todos ellos se pueden consultar en la Tabla 15, que además es la matriz que se ha introducido en el programa estadístico Ginkgo para elaborar el PCA.

Variables	<i>Quercus coccifera</i>	<i>Gypsophila struthium</i>
Porcentaje de germinación (GP)	97	86,6
Porcentaje de germinación (GP): bellotas/semillas grandes	100	98,33
Porcentaje de germinación (GP): bellotas/semillas medianas	98	99
Porcentaje de germinación (GP): bellotas/semillas pequeñas	93	69,33
*Velocidad de germinación (T50)	5,5	8
* Tiempo medio de germinación (MGT)	8	5,1
**Tamaño medio bellota/semilla	3,42	$38,59 \cdot 10^{-5}$
**Tamaño mínimo bellota/semilla	0,68	$10,40 \cdot 10^{-5}$
**Tamaño máximo bellota/semilla	8,32	$88,80 \cdot 10^{-5}$
**Tamaño medio bellotas/semillas pequeñas	1,88	$22 \cdot 10^{-5}$
**Tamaño medio bellotas/semillas medianas	3,95	$43 \cdot 10^{-5}$
**Tamaño medio bellotas/semillas grandes	6,57	$57,50 \cdot 10^{-5}$

Tabla 15: Rasgos funcionales de biología de semilla de *Quercus coccifera* y *Gypsophila struthium*.

* T50 y MGT medidos en días y ** tamaños de semilla medidos en gramos

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se recogen los autovalores (EV) que ha generado el programa estadístico. Tal y como se puede ver en dicha tabla, el total de la variabilidad es explicada por un solo autovalor por lo que el PCA sólo tendrá un componente principal (pc-1).

EV	% Variabilidad	% Variabilidad acumulado
EV-1 12,00	100,00	100,00

Tabla 16: Autovalores (EV) generados por Ginkgo en el PCA y porcentaje de variabilidad explicado por cada EV.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en las dos siguientes tablas se recogen algunos de los datos generados por el programa (outputs). En la primera (Tabla 17) se recogen los valores del componente principal pc-1 para las variables, que en este caso son los rasgos funcionales, mientras que en la Tabla 18 se recogen los valores del componente principal pc-2 para los objetos, que son las dos especies a comparar.

Rasgos funcionales	pc-1
Porcentaje de germinación (GP)	-1
Porcentaje de germinación (GP): bellotas/semillas grandes	-1
Porcentaje de germinación (GP): bellotas/semillas medianas	1
Porcentaje de germinación (GP): bellotas/semillas pequeñas	-1
Velocidad de germinación (T50)	1
Tiempo medio de germinación (MGT)	-1
Tamaño medio bellota/semillas	-1
Tamaño mínimo bellota/semillas	-1
Tamaño máximo bellota/semillas	-1
Tamaño medio bellotas/semillas pequeñas	-1
Tamaño medio bellotas/semillas medianas	-1
Tamaño medio bellotas/semillas grandes	-1

Tabla 17: Outputs generados por Ginkgo. Valores de los componentes principales para cada variable del PCA.

Fuente: Elaboración propia.

Species	pc-1
<i>Quercus coccifera</i>	-0,71
<i>Gypsophila struthium</i>	0,71

Tabla 18: Outputs generados por Ginkgo. Valores de los componentes principales para cada objeto del PCA.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso no se adjunta el biplot de correlación ya que sólo con los valores del componente principal pc-1 que se recogen en las dos tablas anteriores se aprecia cuáles son los rasgos funcionales que caracterizan a cada especie, desde el punto de vista de la biología de sus semillas.

En principio, se observa que la especie *G. struthium* está más caracterizada por dos de los rasgos funcionales incluidos en este análisis, que son el porcentaje de germinación de semillas de tamaño medio y la velocidad de germinación (T50) o tiempo necesario para obtener el 50% de la capacidad germinativa del lote. Dicha especie tiene un porcentaje de germinación de semillas de tamaño medio algo mayor que *Q. coccifera*, aunque es para ambas especies muy elevado y similar. En cuanto a la velocidad de germinación sí que hay una mayor diferencia entre ambas especies, ya que *G. struthium* tarda 2,5 días más en alcanzar el 50% de la capacidad germinativa, que *Q. coccifera*.

Por otra parte, *Q. coccifera* está más caracterizada por el resto de rasgos funcionales que se han incluido en este PCA: porcentaje absoluto de germinación, porcentaje de germinación de semillas grandes y pequeñas, tiempo medio de germinación, tamaño medio de las semillas, tamaño mínimo y máximo de semilla y tamaño medio de semillas grandes, pequeñas y medianas. En cuanto a los rasgos funcionales referidos al tamaño de los propágulos es evidente que todos ellos van a ser bastante mayores para las bellotas de *Q. coccifera* que para las semillas de *G. struthium*. Además, tanto el porcentaje absoluto de germinación como el porcentaje de germinación de propágulos grandes y pequeños es mayor para *Q. coccifera*, existiendo en el caso de los propágulos pequeños una diferencia importante en la capacidad germinativa con respecto a *G. struthium*. Por último, hay que destacar que el tiempo medio de germinación es mayor para *Q. coccifera*, en concreto 2,9 días más que para *G. struthium*.

Cabe destacar la correlación entre velocidad de germinación (T50) y tiempo medio de germinación para ambas especies. Mientras que para la especie *Q. coccifera* la velocidad de germinación es mayor que para *G. struthium*, es decir, tarda menos días en alcanzar el 50% de la capacidad germinativa, el tiempo medio de germinación es menor para *G. struthium* que para *Q. coccifera*. Esto se debe a que en el ensayo de germinación llevado a cabo para *Q. coccifera* un reducido número de bellotas tardaron más tiempo en germinar que la mayoría, por lo que el tiempo medio de germinación se ha visto aumentado.

4. DISCUSIÓN:

4.1. Estudio de rasgos funcionales con base en la supervivencia de *Quercus coccifera* L. en sustratos de yesos de desulfuración

En vista de los resultados obtenidos en la búsqueda bibliográfica, se puede apreciar que la mayor parte de los estudios de rasgos funcionales que se han llevado a cabo hasta el momento para *Quercus coccifera* L. se centran en el estudio de sus rasgos morfológicos y fisiológicos, estando el resto de grupos de rasgos funcionales considerados en la clasificación de Pywell muy poco estudiados.

Este hecho puede deberse a que muchos de estos estudios de rasgos funcionales son investigaciones que se han llevado a cabo para evaluar, a través de la evolución de dichos rasgos funcionales, la capacidad de desarrollo de esta planta en suelos pobres en nutrientes, en condiciones de estrés hídrico o con una radiación solar incidente elevada, con el objetivo de utilizarla en la reforestación de zonas mediterráneas incendiadas o que se han sometido a fuertes presiones por deforestación y sobrepastoreo. Esas condiciones abióticas desfavorables consideradas en dichos estudios también se dan en suelos yesíferos como el de la plantación experimental de la mina.

De todos los artículos científicos de rasgos funcionales de *Q. coccifera* que se han recopilado, aproximadamente el 46% de los mismos tiene como objetivo aportar información de cómo se desarrollan las plántulas o individuos adultos de dicha especie bajo las condiciones de estrés ambiental que se pueden dar en zonas degradadas de la región mediterránea, estudiando principalmente la evolución de rasgos funcionales de tipo morfológicos y fisiológicos.

No obstante, no se ha encontrado ningún artículo en el cuál se estudie la calidad de bellota según su tamaño u otros rasgos de la biología de bellota para *Q. coccifera*, que pueden ser muy útiles de cara a conocer su capacidad de germinación y establecimiento y así tomar determinadas decisiones para aumentar el éxito de una posible siembra de bellotas de esta especie en un plan de restauración. Tal vez este hecho se deba a que se asume que, como en el caso de la encina (*Q. ilex*), el porcentaje de germinación de sus bellotas es muy elevado.

A continuación se van a exponer los posibles factores limitantes que hacen que los atributos de tres rasgos morfológicos (SLA, superficie foliar y altura) medidos en las plántulas de la plantación experimental de la mina sean inferiores con respecto a los valores recopilados en la revisión bibliográfica, así como algunos mecanismos que pueden estar ayudando a dichas plántulas de cara a su supervivencia en las condiciones ambientales estresantes de la mina.

Las plántulas de *Q. coccifera* de la plantación experimental de la mina muestran una superficie foliar y una SLA inferiores a las de plántulas que se desarrollan en un medio similar a su hábitat natural, mientras que en el caso de la altura muestran valores algo inferiores pero más similares a los de las plántulas que se desarrollan bajo condiciones ambientales más favorables. Esta reducción en el crecimiento de las plántulas es debido a varios factores ambientales que están afectando de forma negativa a su desarrollo: composición química y estructura del suelo, radiación solar incidente y disponibilidad de recursos hídricos.

En cuanto a la composición química del tecnosuelo de yesos sobre el que se desarrollan las plántulas de *Q. coccifera* en la plantación experimental, cabe destacar que tiene un elevado contenido de Ca y S (García, 2015). Esta composición química está generando cierta toxicidad para las plántulas ya que, aunque en algunas publicaciones como Flora Ibérica o el Atlas de la Flora de Aragón consideran a *Q. coccifera* como una especie gipsovaga, en el medio natural no se encuentran en suelos con un contenido de yeso cercano al 95%.

Las especies gipsovagas que habitan en la Península Ibérica parecen mostrar mecanismos fisiológicos para eliminar o regular el calcio y los sulfatos absorbidos a través de las raíces. Por tanto, su habilidad de crecer en yesos o en otros tipos de suelo podría estar relacionada con su capacidad de regular el exceso de nutrientes absorbido del suelo, principalmente Ca y S. No obstante, esto tiene consecuencias negativas en su capacidad para absorber otros nutrientes como N y P que son más escasos en suelos de yesos (Palacio et al., 2014).

En el caso de *Q. coccifera* es posible que, al igual que otras gipsóvagas de la Península Ibérica como *Rosmarinus officinalis* L., *Linum suffruticosum* L., *Salvia lavandulifolia* Vahl. o *Teucrium polium* L. subsp. *capitatum* (L.) Arcangelli, elimine el exceso de calcio en forma de oxalato de calcio o que sintetice glutatión en las hojas para regular la concentración de sulfato absorbido a través de las raíces (Palacio et al., 2014), permitiéndole estos mecanismos sobrevivir en suelos con unas concentraciones elevadas de yesos.

En cuanto a la estructura del tecnosuelo de yesos de la plantación experimental presenta un problema importante de compactación, ya que además de desarrollarse de forma natural horizontes endurecidos por procesos de evapotranspiración y ascenso capilar de sales (Escudero, 2009), se lleva a cabo el aplastamiento con rodillo del sustrato. Esto constituye un inconveniente para el desarrollo de las plántulas ya que dificulta el desarrollo de su sistema radicular y al tener una porosidad baja, su permeabilidad es también baja, el almacenamiento de recursos hídricos a través de su infiltración en el suelo es muy limitado y, por tanto, la disponibilidad de agua para las plántulas es muy reducida.

Cuando hay suficientes recursos hídricos disponibles, las plántulas de *Q. coccifera* siguen una estrategia de gasto de agua, que se manifiesta en una alta conductancia estomática, lo que supone una gran pérdida de agua, generándose un fuerte gradiente del potencial hídrico entre el suelo y la plántula, que ayuda a mantener una absorción adecuada de agua para compensar la pérdida de agua a través de los estomas. No obstante, cuando hay un déficit hídrico se induce la reducción de la conductancia estomática con lo que se reduce la transpiración y se previene la pérdida de agua (Baquezano et al., 2006), favoreciéndose así su supervivencia.

Además, bajo condiciones de estrés ambiental muchas plantas compensan la elevada presión osmótica en la rizosfera a través de la síntesis de osmolitos que actúan como sustancias osmoprotectoras. Uno de los osmolitos más comunes en las plantas es la prolina, que es un aminoácido que se acumula en el citosol bajo condiciones de estrés inducidas por la salinidad, la sequía y las altas temperaturas, entre otros factores (Soriano et al., 2014).

No se han encontrado estudios acerca de la prolina u otros osmolitos para *Q. coccifera* pero sería interesante estudiar en futuros trabajos si la síntesis de estos componentes es uno de los

mecanismos fisiológicos que están ayudando a las plántulas de la plantación experimental a sobrevivir bajo esas condiciones ambientales tan estresantes.

Baquedano et al. (2006) han comprobado que tanto el SLA como la altura de las plántulas de *Q. coccifera* disminuyen a medida que aumenta el estrés hídrico al que están sometidas. Dichos autores han medido una reducción del SLA de $8,7 \text{ cm}^2/\text{g}$ y respecto a la altura de las plántulas una reducción de 3,4 cm. Esto concuerda con los datos de SLA y altura de las plántulas de la plantación experimental, que muestran valores inferiores con respecto a las plántulas que se desarrollan bajo condiciones ambientales similares a las del hábitat natural de *Q. coccifera* e incluso en el caso del SLA sus valores son más bajos que los medidos por dichos autores en condiciones de estrés hídrico. Por tanto, en vista de estos datos se puede afirmar que el estrés hídrico es una de las razones por las que las plántulas han visto reducido su crecimiento y la producción de biomasa aérea.

Aunque las plántulas de la plantación experimental han reducido el desarrollo de su biomasa aérea, sería interesante estudiar en futuros trabajos si han incrementado su biomasa radicular de cara a incrementar la absorción de agua, ya que el incremento de la humedad del suelo es más prominente en sus capas más profundas donde el agua es más accesible para las plántulas de *Q. coccifera* en relación a las plántulas de otras especies. Las plántulas de *Q. coccifera* invierten una gran cantidad de recursos en el rápido desarrollo de la biomasa de su sistema radicular, lo que permite a las plántulas de dicha especie sobrevivir en condiciones ambientales adversas (Benayas et al., 2005).

No obstante, en el caso concreto de la plantación experimental de la mina, la excesiva compactación del tecnosuelo de yesos es probable que constituya un limitante de cara al desarrollo radicular de las plántulas hacia las capas más profundas en las que es posible que haya mayores reservas hídricas, ya que a diferencia de otras especies adaptadas a estas condiciones como *H. squatum*, para las cuáles hay datos de que poseen potentes raíces pivotantes (Gomez, 2005), para *Q. coccifera* no hay datos sobre este aspecto.

Por otra parte, un hecho importante es que las plántulas sometidas a estrés hídrico muestran una mayor sensibilidad frente a la foto inhibición, por lo que bajo condiciones de estrés hídrico el proceso de fotosíntesis se satura con una radiación solar menor que bajo condiciones ambientales óptimas. Esto es debido a que las plantas poseen diversos mecanismos de foto protección que se activan bajo condiciones de estrés hídrico para evitar daños en las hojas y que permiten disipar en forma de calor el 70-90% de la energía que les llega en forma de radiación (Baquezano et al., 2006).

A la vista de los datos climatológicos disponibles para la zona de Andorra, se puede afirmar que al menos durante el periodo estival, las plántulas de *Q. coccifera* de la plantación experimental de la mina están sometidas a condiciones ambientales de sequía (radiación solar, temperaturas y estrés hídrico elevados) que están desencadenando una serie de procesos de fotoinhibición en las plántulas.

A medida que aumenta la radiación solar a la que están sometidas las plántulas de *Q. coccifera*, su superficie foliar y su altura experimentan una reducción de $2,3 \text{ cm}^2$ y 14,3 cm respectivamente y el establecimiento y desarrollo de dichas plántulas se ve limitado (Benayas

et al., 2005), probablemente como consecuencia directa de los procesos de fotoinhibición. En las plántulas de la plantación experimental la superficie foliar es 0,3 cm² inferior que la medida por dichos autores bajo condiciones de radiación solar elevada, probablemente como consecuencia de la combinación de varios factores ambientales estresantes actuando al mismo tiempo (condiciones de sequía), al menos durante el verano.

En futuros estudios sería interesante medir la concentración de carotenoides con respecto a la de clorofila de cara a utilizar estos datos como un indicador directo del nivel de foto inhibición en las plántulas de la plantación experimental, ya que ambos son pigmentos fotosintéticos, pero los carotenoides también poseen la función de proteger los aparatos fotosintéticos de los altos niveles de radiación. El aumento del contenido de carotenoides con respecto a la clorofila en las plántulas de *Q. coccifera* que se desarrollan bajo condiciones de escasez de nutrientes y elevada radiación solar podría reflejar una mayor fotoprotección (Valladares et al., 2000).

Por último, cabe destacar que en el caso de *Q. coccifera* y otras especies leñosas, los individuos que crecen en condiciones ambientales adversas tienden a mostrar un patrón conservador en relación al uso de los recursos disponibles, incluso cuando las condiciones ambientales son favorables (Valladares et al., 2000). Esta puede ser otra de las razones por las cuales las plántulas de la plantación experimental no crecen como los individuos que se desarrollan en su hábitat natural, bajo condiciones ambientales más favorables.

4.2. Estudio de la calidad de semilla de *Quercus coccifera* L.

4.2.1. Caracterización de las plantas madre de *Quercus coccifera* L.

Viendo los resultados obtenidos del PCA de caracterización de las plantas madre, se puede apreciar que, al menos para los individuos estudiados, la relación entre su biovolumen y el tamaño de sus bellotas es inversamente proporcional.

En el ciclo fenológico estudiado, las 5 plantas madre de *Q. coccifera* que tienen un biovolumen mayor han producido una mayor cantidad de bellotas pequeñas con respecto a las bellotas de tamaño mediano y grande producidas por esas mismas plantas. Las otras cinco plantas madre estudiadas, tienen un biovolumen más reducido y han producido mayor cantidad de bellotas de tamaño grande y mediano. Esto podría indicar que la correlación inversa entre biovolumen de las plantas madre y el tamaño de las bellotas es a costa de producir mayor cantidad de bellotas de un tamaño determinado.

Así, es posible que aquellas plantas madre que tienen un biovolumen mayor inviertan mayor cantidad de los recursos disponibles en su crecimiento y que los recursos restantes los invierta en generar el mayor número posible de bellotas de pequeño tamaño de cara a maximizar la dispersión de propágulos hacia micrositios con seguridad incierta. Por el contrario, las plantas madre que tienen un biovolumen menor probablemente inviertan menor cantidad de los recursos disponibles en su crecimiento y produzcan bellotas de mayor tamaño a costa de reducir la cosecha producida, asegurando de esta forma la germinación y supervivencia de unas pocas plántulas en micrositios más seguros, cercanos a la planta madre. Esto concuerda con lo expuesto por Knops et al. (2013), que han encontrado correlaciones negativas entre la producción de bellotas y el desarrollo de la biomasa aérea en especies del género *Quercus*.

No obstante, si nos fijamos en el total de las bellotas recolectadas, casi la mitad (45,4%) son bellotas pequeñas, es decir, que al menos durante el ciclo fenológico considerado en este estudio los individuos de *Q. coccifera* de la zona de recolección han producido una mayor cantidad de bellotas pequeñas, independientemente de su biovolumen. En líneas generales dicho ciclo fenológico fue bastante seco y con temperaturas ligeramente más bajas de lo habitual a excepción de algunos meses en los que la temperatura o las precipitaciones fueron más altas.

Por tanto, este hecho nos indica que la correlación entre el biovolumen de la planta madre y el número y tamaño de bellotas producidas por dicha planta está condicionada por otros factores externos, como por ejemplo determinadas condiciones ambientales. Se ha comprobado que las relaciones entre algunos rasgos funcionales como el crecimiento y la producción de bellotas son complejos y pueden estar influenciados por la disponibilidad de recursos como el agua o los nutrientes o por las adaptaciones a las tendencias a largo plazo de las condiciones ambientales locales (Barringer et al., 2013).

Koenig et al. (2014) han visto que la producción de bellotas se correlaciona con algunos factores ambientales durante períodos potencialmente críticos como son la producción de flores o la maduración de bellotas para una gran proporción de las especies estudiadas. Por tanto, los hábitats o sitios en los que se ubican las plantas madre son un factor importante para la producción de bellotas ya que en cada uno de ellos se dan unas condiciones ambientales y una disponibilidad de recursos distintas.

Cabe destacar que en el caso concreto de *Q. ilex* estos mismos autores han investigado los factores que influyen en la masa de las bellotas y se han encontrado efectos significativos de la localización y del año, pero no del tamaño de la planta madre. Aunque en nuestro estudio de *Q. coccifera* sí que se ha visto que existe cierta correlación entre el tamaño de la planta madre y la masa de las bellotas, sería necesario llevar a cabo nuevos estudios que corroboren esta hipótesis.

Para la especie *Q. coccifera* no se ha encontrado información sobre la influencia de los factores ambientales en la producción y tamaño de sus bellotas. No obstante, se han seleccionado algunas de las variables ambientales que afectan a la producción y tamaño de las bellotas de *Quercus ilex* (temperatura y precipitaciones en primavera, verano y comienzos de otoño) y se han extrapolado a nuestro caso de estudio, teniendo en cuenta los datos climáticos del año de recolección. La información de *Q. ilex* que se ha utilizado procede de la revisión bibliográfica llevada a cabo por Koenig et al., (2013).

Tanto *Q. coccifera* como *Q. ilex* son especies cuya distribución abarca las tierras bajas (piso basal) de Aragón. Ambas se desarrollan en ambientes soleados, sobre suelos someros, pedregosos y de escasa fertilidad y bajo unas condiciones climáticas determinadas por un estiaje bastante cálido y seco. A pesar de que ambas especies toleran bastante el calor, el frío y la sequía, sólo *Q. coccifera* se desarrolla en los ambientes más áridos y sobre suelos de yesos (Castroviejo, 1986; Gómez, 2005), es decir, bajo condiciones ambientales más estresantes.

Otra diferencia importante a tener en cuenta entre ambas especies es la duración de sus ciclos fenológicos, ya que *Q. ilex* florece y produce bellotas maduras en el mismo año (ciclo

fenológico de un año), mientras que *Q. coccifera* tiene un ciclo fenológico de 2 años, es decir, que florece en abril-mayo, la bellota suele crecer poco durante el primer año y madura en el segundo año, dando lugar a bellotas maduras en octubre (Gómez, 2005; Polunin, 1982). Según Koenig et al. (2014), aquellas especies que necesitan dos años para producir bellotas maduras, generan cosechas más regulares a lo largo del tiempo, por lo que es probable que, a pesar de la indudable influencia de las condiciones ambientales, las plantas madre estudiadas produzcan cosechas similares a las del ciclo fenológico estudiado a lo largo de los años.

Al consultar los datos climatológicos de la zona de recolección que se recogen en el apartado de área de estudio (material y métodos), se observa que la primavera del primer año del ciclo fenológico ha sido más húmeda que en años anteriores, mientras que el verano (excepto julio) ha sido considerablemente más seco. Cabe destacar que el mes de octubre también fue excesivamente seco. En relación a las temperaturas, han sido más bajas a lo largo de todo el año con respecto a su promedio climatológico de años anteriores (IAEST, 2015).

Mientras que la mayor precipitación en primavera puede haber favorecido la producción de bellotas, las heladas durante abril habrán sido perjudiciales en este sentido. El verano, más seco de lo habitual, habrá generado un estrés hídrico considerable que también habrá influido negativamente en la cosecha producida. Por último, las escasas precipitaciones de octubre también influyen negativamente. Por tanto, en general, las condiciones climáticas del primer año del ciclo fenológico han ejercido una influencia negativa en la producción y masa de las bellotas.

Durante la primavera del segundo año del ciclo fenológico (año de recolección) las precipitaciones fueron bastante inferiores respecto a su promedio climatológico de años anteriores y las temperaturas también fueron algo más bajas. Durante el verano, las precipitaciones fueron algo superiores a las de años anteriores mientras que las temperaturas fueron similares, salvo en el mes de septiembre en el que fueron más altas de lo habitual. Por otra parte, durante el mes de octubre en el que se llevó a cabo la recolección, las precipitaciones fueron muy inferiores a las de años anteriores mientras que se registraron temperaturas considerablemente superiores (IAEST, 2015).

Es probable que esa falta de precipitaciones en primavera junto con esas temperaturas algo más bajas hayan tenido un efecto negativo sobre la producción de bellotas. No obstante, cabe destacar que la ausencia de heladas durante este periodo puede haber favorecido la producción de bellotas. Teniendo en cuenta esa falta importante de precipitaciones en primavera y que durante el verano las precipitaciones y temperatura han sido similares a las de años anteriores, es probable que ese año las plantas madre de coscoja hayan estado sometidas a un estrés hídrico superior al de veranos anteriores, que genera un efecto negativo significativo en la producción de bellotas en coscoja. Además, la elevada temperatura media de septiembre influye negativamente en la masa o tamaño de las bellotas y la falta acusada de precipitaciones durante octubre también habrá afectado negativamente al desarrollo de las bellotas.

En vista de todos estos datos, se podría decir que los factores ambientales (precipitaciones y temperatura) durante el ciclo fenológico en el que se han formado las bellotas recolectadas han tenido efectos negativos sobre la producción de bellotas y su tamaño.

Con todo lo expuesto anteriormente se puede afirmar que la correlación entre el biovolumen de las plantas madre y el tamaño y número de bellotas producidas no está muy clara. Según los resultados obtenidos, la correlación entre biovolumen de la planta madre y el tamaño de las bellotas que produce es negativa. En cuanto a la correlación entre biovolumen y número de bellotas producidas, aunque no se ha estudiado, cabe esperar que sea positiva, ya que aquellos individuos de mayor tamaño pueden producir mayor número de bellotas. Así, aquellas plantas madre de mayor tamaño producirán mayor número de bellotas que otra de menor tamaño y la mayor parte de estas bellotas serán pequeñas.

No obstante, hay que tener en cuenta que estas correlaciones no se cumplen al 100% ya que están condicionada por varios factores ambientales como el tipo de hábitat en el que se encuentran las plantas madre, que a su vez condiciona los factores ambientales (precipitaciones y temperatura) y la disponibilidad de recursos a las que están sometidas las plantas madre, o bien que incluso dependa de cada planta madre (p.e. estrategia mixta de dispersión) tal y como apunta Koenig y Knops y, por tanto, no se pueda generalizar. Por tanto, su interpretación y análisis resulta bastante complejo.

4.2.2. Ensayos de germinación

A continuación se ha procedido a contrastar los resultados obtenidos en el ensayo de germinación de *Q. coccifera* con los resultados obtenidos en otros estudios similares de dicha especie. No obstante, los estudios que se han llevado a cabo para esta especie sobre los aspectos que nos interesan son bastante escasos, por lo que se ha decidido complementarlos con algunos estudios realizados para la especie *Q. ilex*.

Los resultados de los ensayos de germinación que se han llevado a cabo para *Q. coccifera* muestran que las bellotas grandes son las que tienen una mayor capacidad de germinación. Este dato coincide exactamente con los resultados aportados por Gnatsas et al. (2013), en cuyo estudio han obtenido un 100% de germinación sembrando bellotas grandes de *Q. coccifera* bajo condiciones de laboratorio.

Gómez (2014) y Navarro et al. (2006) coinciden en afirmar que las bellotas grandes, bajo condiciones ambientales favorables, tienen mayores tasas de germinación y supervivencia de plántulas en el caso de *Q. ilex*. Según Gómez (2014), en las primeras etapas de desarrollo, la mayor parte de la energía que necesitan las plántulas procede de la propia bellota, por tanto, es evidente el efecto positivo del tamaño de bellota en el desarrollo de la plántula y se puede extrapolar perfectamente a *Q. coccifera*.

No obstante, bajo condiciones de estrés hídrico el desarrollo de las plántulas es menor y no se ha encontrado ninguna relación entre el tamaño de bellota y la supervivencia de las plantas o sus características morfológicas (Navarro et al., 2006). Este hecho hace plantearse que de cara a una posible revegetación de la mina con *Q. coccifera* sería necesario realizar labores de riego de cara a aumentar la tasa de germinación de las bellotas y la supervivencia de las plántulas, ya que en dicha mina se dan condiciones de estrés hídrico, altas temperaturas y elevada radiación solar al menos durante el verano, además de otras condiciones estresantes como elevados contenidos en el suelo de calcio y sulfatos, que van a limitar el desarrollo de las plántulas.

En el ensayo que se ha llevado a cabo, la germinación de las bellotas ha comenzado bastante pronto, tal y como muestra la tasa de germinación (T50) para los tres tamaños de bellota, así como los datos de muestreo recogidos en una tabla del Anexo III. Al día siguiente de su siembra ya habían germinado bellotas de los tres tamaños, lo que concuerda con lo expuesto por Ganatsas et al. (2013). Además, este autor afirma que el proceso de germinación rápido que presentan las bellotas de *Q. coccifera* es característico de muchas semillas sensibles a la desecación y que esto se debe a que la capa superficial de las bellotas es delgada para reducir la resistencia mecánica de cara a la germinación.

Sin embargo, el tiempo medio de germinación que se ha obtenido para *Q. coccifera* es bastante mayor que en otros ensayos de germinación que se han llevado a cabo para dicha especie, al menos en el caso de las bellotas grandes. Mientras en nuestro caso es de 9,15 días, Ganatsas et al. (2013) han obtenido un tiempo medio de germinación de 4,4 días. No obstante, esta diferencia es debida fundamentalmente a que han empleado un procedimiento de germinación de las bellotas distinto, que consiste en cortarlas por la mitad y colocar las medias bellotas entre dos hojas de papel de filtro humedecido con agua desionizada en placas de Petri, con la zona en la que se ha realizado el corte hacia abajo.

Estas diferencias respecto al tiempo invertido en la germinación son importantes ya que, cuando se dan condiciones ambientales favorables para la germinación, el tiempo empleado en la germinación y emergencia juega un papel crítico en el establecimiento de la plántula en muchas especies, mostrando normalmente ventajas aquellas plántulas que han germinado antes (Gómez, 2004). Además, cuando se trata de una especie como *Q. coccifera*, que se desarrolla en ambientes áridos, cuyas bellotas maduran y están listas para germinar en otoño, tras el periodo estival de sequía, y que además, como ya se ha dicho anteriormente son sensibles a la desecación y poseen una latencia del hipocotilo poco profunda (González-Rodríguez, 2012), deben germinar lo más rápido posible cuando se den las condiciones ambientales adecuadas de temperatura y humedad, durante las lluvias de otoño, para asegurar el reclutamiento de nuevas plántulas.

Comparando los datos obtenidos del ensayo de germinación de *Q. coccifera* con los de otros autores también se aprecia una diferencia importante en relación a la velocidad de germinación. Mientras que Gómez (2004) y Ganatsas et al. (2013) coinciden en afirmar que las bellotas más grandes son las que germinan más rápido, en el ensayo de germinación que se ha llevado a cabo se ha visto que a pesar de que la germinación es bastante rápida para los tres tamaños de bellota, son las bellotas medianas las que muestran una mayor germinación durante los primeros días, seguidas de las bellotas grandes y pequeñas.

Esto puede ser debido a lo expuesto por González-Rodríguez et al. (2012) que afirman que aunque en general las bellotas grandes germinan más rápido que las demás, este efecto depende de la planta madre de la que procedan dichas bellotas, tal y como han visto que sucede en los ensayos de germinación que han llevado a cabo para *Q. ilex*. Las diferencias en el desarrollo de las bellotas de distintas planta madre pueden estar relacionadas con el contenido de humedad de las bellotas, que difiere entre individuos. Las bellotas con mayor contenido de humedad muestran dormancia del hipocotilo que a su vez retarda la emergencia de las plántulas.

Aunque no se ha estudiado si este efecto ocurre en *Q. coccifera*, es posible que el desarrollo de bellotas del mismo tamaño pero que proceden de plantas madre distintas pueda diferir, por lo que sería interesante llevar a cabo ensayos de germinación de las bellotas de cada planta madre por separado y clasificadas por tamaños para comprobar si la velocidad de germinación de las bellotas de cada tamaño depende de la planta madre de la que proceden.

4.3. Comparación de los rasgos funcionales de *Quercus coccifera* L. y *Gypsophila struthium* L.

Las semillas de *G. struthium* poseen altos porcentajes de germinación a diferentes temperaturas y fotoperiodos. Esto indica que la influencia de las condiciones ambientales de luz y temperatura en la germinación de las semillas es muy limitada, salvo en el caso de la disponibilidad de agua (Moruno et al., 2011). Para *Q. coccifera* se han obtenido altos porcentajes de germinación a una temperatura de 21°C y una humedad del 40% y bajo condiciones de oscuridad. No obstante, no se ha evaluado su capacidad germinativa bajo otras condiciones de luz y temperatura.

A pesar de que *Q. coccifera* es la que tiene un porcentaje de germinación absoluto mayor, ambas especies tienen altos porcentajes de germinación bajo condiciones ambientales favorables para cada especie. No obstante, como ya se ha apuntado en apartados anteriores, las condiciones ambientales de campo son diferentes a las de laboratorio y dan lugar a porcentajes de germinación más bajos, debido principalmente al estrés ambiental, que en el caso de los yesos se deriva principalmente del alto contenido en sulfatos y calcio. Este estrés ambiental, también afecta posteriormente al reclutamiento de nuevas plántulas (emergencia y supervivencia). En esta fase el embrión de *Q. coccifera* dispondrá de mayor reserva de nutrientes que el embrión de *G. struthium* y, por tanto, tal vez tenga algo de ventaja. Esto coincide con lo expuesto por Gómez (2004) y Navarro (2006) que defienden que las bellotas de mayor tamaño suelen germinar en un periodo de tiempo menor y dan lugar a plántulas significativamente más vigorosas, lo que supone una clara ventaja de cara a aumentar la supervivencia de dichas plántulas.

Se puede afirmar que la influencia de la temperatura sobre la germinación de las bellotas de *Q. coccifera* es muy reducida, al igual que para *G. struthium*, ya que según Moruno et al. (2011), en general, la vegetación xerófila germina bajo condiciones de temperatura poco restrictivas.

No obstante, la germinación de *Q. coccifera* sí que está fuertemente correlacionada con el contenido de humedad. Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, la capa superficial de las bellotas es delgada para facilitar su germinación pero esta característica las hace sensibles a la desecación en condiciones de estrés hídrico. A medida que el contenido de humedad de las bellotas baja del 37% inicial hasta un 26%, la capacidad de germinación también se ve reducida hasta llegar a apenas un 20%. En el momento en el que el contenido de humedad de la bellota baja del 28% la capacidad de germinación disminuye drásticamente (Ganatsas et al., 2013). Hay que tener en cuenta que los ensayos de germinación de *Q. coccifera* que se han realizado en el presente trabajo se han llevado a cabo bajo condiciones de saturación hídrica del sustrato de cara a conocer cuál es la capacidad germinativa máxima de esta especie bajo condiciones ambientales favorables, a pesar de que en el medio natural de dicha especie no se den siempre estas condiciones y, por tanto, la capacidad germinativa sea

menor. Este hecho hace necesario el riego en un proceso de restauración basado en siembra de bellotas, de cara a minimizar esa reducción de su capacidad germinativa por estrés hídrico.

Por tanto, se puede afirmar que la capacidad de germinación de las bellotas de *Q. coccifera* y de las semillas de *G. struthium* están condicionadas principalmente por la disponibilidad de recursos hídricos, siendo la temperatura un factor ambiental muy poco influyente. Es por ello que cuando se dan condiciones de humedad favorables para su germinación, ambas especies muestran una velocidad de germinación (T50) alta. No obstante, la velocidad de germinación de *G. struthium* es mayor, probablemente como consecuencia de su adaptación a ambientes más áridos, en los que las semillas tienen que aprovechar cualquier recurso hídrico disponible (Moruno et al. 2011) para germinar lo más rápido posible, permitiendo así el establecimiento y supervivencia de las nuevas plántulas cuando las condiciones ambientales vuelvan a ser adversas.

Los ensayos de germinación de *Q. coccifera* se han realizado en condiciones de oscuridad, obteniéndose altos porcentajes de germinación. Sin embargo, no se conoce si la luz tiene algún efecto sobre la germinación de sus bellotas. En el caso de *G. struthium*, Moruno et al. (2011) han encontrado que la luz no es un factor ambiental restrictivo para la germinación de sus semillas.

La capacidad germinativa para las semillas y bellotas grandes y medianas es muy elevada y bastante similar para ambas especies, por lo que estos datos parecen indicar que el tamaño de las bellotas/semillas es un buen indicador de la calidad de cosecha para ambas especies. No obstante, es interesante destacar que las bellotas pequeñas de *Q. coccifera* tienen una capacidad germinativa considerablemente mayor que las semillas pequeñas de *G. struthium*. Es posible que esto se deba a que una parte de estas semillas pequeñas de *G. struthium* no tengan una viabilidad de cara a su germinación por tratarse de abortos, es decir, semillas que no han completado su maduración.

Por tanto, de cara a aumentar la homogeneidad en la calidad de las cosechas producidas por estas especies para utilizarlas en una revegetación, en el caso de *G. struthium* el esfuerzo que supone clasificar las semillas recolectadas por tamaños de cara a sembrar solo semillas grandes y medianas, con un porcentaje de germinación cercano al 100%, sí que aumentaría notablemente la calidad del banco de semillas recolectadas, ya que las semillas pequeñas muestran casi un 30% menos de porcentaje de germinación, mientras que en el caso de *Q. coccifera* ese esfuerzo no genera un aumento notable de la capacidad germinativa del banco de bellotas recolectadas, ya que todas las bellotas tienen un porcentaje de germinación de entre un 93% y un 100%.

Con todos estos datos se podría considerar que ambas especies tienen una estrategia de germinación oportunista. Las especies que tienen una germinación oportunista se caracterizan por mostrar una escasa latencia en sus semillas, siendo la temperatura o la humedad los principales factores limitantes que controlan su germinación (Díaz Lifante, 1993) y cuya germinación y crecimiento en la etapa de plántula es bastante rápido (Camargo-Ricalde et al., 1998). Además, muchas de estas especies son capaces de germinar en un amplio rango de temperaturas.

Ambas especies consideradas en este estudio cumplen la mayoría de las características descritas ya que tienen una alta capacidad germinativa, son capaces de germinar en un amplio rango de temperaturas y en un periodo de tiempo relativamente corto, ya que *Q. coccifera* alcanza el 50% de su capacidad germinativa en pocos días mientras que el tiempo medio de germinación de *G. struthium* es también muy reducido, y en el caso de *G. struthium* la luz no es un factor ambiental que influya en la germinación. La germinación oportunista es muy común en especies que habitan en desiertos, zonas áridas y estepas de la región Mediterránea (Moruno et al., 2011).

En el caso de *Q. coccifera*, es posible que al igual que para *Q. ilex*, las bellotas de diferentes plantas madre respondan de forma distinta bajo las mismas condiciones ambientales debido al contenido de humedad de las bellotas, que a su vez está condicionado por la planta madre de la que proceden y que si es muy elevado puede dar lugar a la latencia del hipocotilo, aunque dicha latencia no es profunda (González-Rodríguez et al., 2012). Para *G. struthium* son varios los autores que coinciden en afirmar que sus semillas carecen de cualquier tipo de latencia cuando las condiciones ambientales (recursos hídricos y salinidad del suelo) son favorables para su germinación (Moruno et al., 2011; Soriano et al., 2014).

No obstante, se ha comprobado que cuando los niveles de salinidad superan el límite de tolerancia de las semillas de *G. struthium*, se inhibe su germinación por un efecto osmótico, pudiendo permanecer en estado de latencia en el suelo y germinando durante el periodo de lluvias en otoño, cuando los niveles de salinidad son inferiores (Soriano et al., 2014). En condiciones de sequía extrema, muchas especies que habitan en zonas áridas han desarrollado diferentes estrategias relacionadas con el número de semillas preparadas para germinar después de producirse precipitaciones. Este no es el caso de *Q. coccifera* que como ya se ha comentado anteriormente sus bellotas son sensibles a la desecación y pierden su viabilidad si su contenido de humedad se ve muy reducido.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que mientras que el yeso disuelto no tiene ningún efecto o tiene efectos negativos sobre la germinación de muchas especies, hay algunas especies gipsófilas con una amplia distribución en la Península Ibérica, como es el caso de *G. struthium*, para las cuales la presencia de yeso representa una ventaja en la etapa de germinación. Además, la germinación de algunas especies gipsovagás también se ve favorecida por determinadas concentraciones de yeso en el suelo (Cañadas et al., 2014). En el caso de *Q. coccifera* es probable que el yeso tenga efectos negativos sobre la germinación ya que, aunque en algunas regiones se encuentra sobre suelos yesíferos no es la norma general para esta especie y, por tanto, lo más probable es que no tenga ese grado de adaptación a dicho estrés.

5. CONCLUSIONES:

- La mayor parte de los rasgos funcionales de *Q. coccifera* que se han estudiado hasta el momento son morfológicos y fisiológicos, ya que son buenos indicadores del desarrollo de las plántulas y, por tanto, del éxito de una restauración ecológica. Por el contrario, los relacionados con la biología de la semilla son los menos estudiados para dicha especie pero son igual de importantes de cara a predecir y asegurar el éxito en la etapa de germinación y reclutamiento en un proyecto de restauración por siembra de bellotas, que a su vez asegura el éxito final de la actuación.
- Según los resultados obtenidos, de cara a aumentar la calidad de la cosecha para una revegetación, sólo se deberían recolectar bellotas de aquellas plantas madre de *Q. coccifera* de menor biovolumen ya que producen mayor cantidad de bellotas de tamaño mediano y grande, que son las que tienen un mayor capacidad germinativa. Así se optimizaría el esfuerzo invertido por el equipo de trabajo en la recolección.
- Aunque la correlación entre el tamaño y el número de las bellotas producidas por las plantas madre es muy compleja de analizar ya que se ve influenciada tanto por factores ambientales, principalmente temperatura y precipitaciones en períodos muy puntuales del ciclo fenológico, así como por las estrategias de dispersión de las plantas madre, las especies que tienen un ciclo fenológico de dos años, como es el caso de *Q. coccifera*, generan cosechas más regulares a lo largo del tiempo. Por tanto, es probable que el patrón de esta correlación permanezca constante a lo largo del tiempo, lo cual puede ayudar a predecir si las plantas madre seleccionadas para llevar a cabo una recolección producen cosechas de calidad. Por todo ello, aunque dicha correlación es inversamente proporcional en el ciclo fenológico considerado, sería conveniente estudiarla durante varios ciclos fenológicos seguidos para llegar a una conclusión firme.
- De cara a aumentar el éxito de una siembra con bellotas de *Q. coccifera*, dentro de un plan de restauración, sería interesante seleccionar sólo aquellas de mayor tamaño/peso, ya que son las que tienen una mayor capacidad de germinación. No obstante, como las bellotas pequeñas también tienen una capacidad de germinación considerablemente alta, es probable que el tiempo y esfuerzo invertidos en clasificar las bellotas por tamaños no compense en relación al aumento de la calidad de la cosecha recolectada.
- Aunque se ha visto que *Q. coccifera* es capaz de sobrevivir en suelos de yeso de gran pureza y bajo condiciones estresantes de sequía, no es la especie más adecuada para llevar a cabo la revegetación de la mina Corta Barrabasa, ya que su desarrollo y crecimiento se ve muy limitado.
- Los rasgos funcionales de biología de semilla de *Q. coccifera* y *G. struthium* parecen indicar que ambas especies están adaptadas para asegurar la germinación en zonas áridas de la región mediterránea, mostrando sus propágulos características propias de una estrategia de germinación oportunista. Esto hace que dichas especies sean idóneas de cara a realizar restauraciones por siembra en la región mediterránea, teniendo siempre en cuenta las condiciones ambientales limitantes de cada zona a la hora de elegir la especie a utilizar. Hay

que tener en cuenta que la viabilidad potencial de los propágulos que se obtiene en el laboratorio puede diferir mucho respecto a su viabilidad real en el campo.

- De cara a la restauración ecológica de un ecosistema degradado, hay rasgos funcionales de biología de semilla como los porcentajes de germinación, el tiempo medio de germinación, la tasa de germinación y los tamaños de semilla, que constituyen una herramienta de gran utilidad para predecir cómo se va a desarrollar una especie en dicho ambiente en sus primeras etapas de desarrollo y para planificar las siembras. En etapas posteriores del desarrollo de las plántulas hay rasgos funcionales de tipo morfológico como el área foliar específica, el área foliar, la altura o el biovolumen, que permiten llevar a cabo el seguimiento del desarrollo de las especies y correlacionarlo con las condiciones ambientales, actuando como indicadores de un posible estrés ambiental y del éxito de la restauración. Además, muchos de estos rasgos funcionales son fácilmente medibles e interpretables.

6. BIBLIOGRAFÍA:

- Alvarado, J. J., Ruiz, J. M., López-Cantarero, I., Molero, J., & Romero, L. (2000). Nitrogen metabolism in five plant species characteristic of gypsiferous soils. *Journal of Plant Physiology*, 156(5-6), 612-616.
- Aparicio, A., Hampe, A., Fernández-Carrillo, L., & Albaladejo, R. G. (2012). Fragmentation and comparative genetic structure of four mediterranean woody species: Complex interactions between life history traits and the landscape context. *Diversity and Distributions*, 18(3), 226-235.
- Balaguer, L., Martínez-Ferri, E., Valladares, F., Pérez-Corona, M. E., Baquedano, F. J., Castillo, F. J., et al. (2001). Population divergence in the plasticity of the response of *quercus coccifera* to the light environment. *Functional Ecology*, 15(1), 124-135.
- Baquedano, F. J., & Castillo, F. J. (2006). Comparative ecophysiological effects of drought on seedlings of the mediterranean water-saver *pinus halepensis* and water-spenders *quercus coccifera* and *quercus ilex*. *Trees - Structure and Function*, 20(6), 689-700.
- Baquedano, F. J., & Castillo, F. J. (2007). Drought tolerance in the mediterranean species *quercus coccifera*, *quercus ilex*, *pinus halepensis*, and *juniperus phoenicea*. *Photosynthetica*, 45(2), 229-238.
- Barringer, B. C., Koenig, W. D., & Knops, J. M. (2013). Interrelationships among life-history traits in three California oaks. *Oecologia*, 171(1), 129-139.
- Benayas, J. M. R., Navarro, J., Espigares, T., Nicolau, J. M., & Zavala, M. A. (2005). Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of mediterranean abandoned cropland with contrasting *quercus* species. *Forest Ecology and Management*, 212(1-3), 302-314.
- Bergkamp, G. (1998). Hydrologic influences on the resilience of *quercus* spp. dominated geoecosystems in central spain. *Geomorphology*, 23(2-4), 101-126.
- Camargo-Ricalde, Sara L., & Grether, Rosaura. (1998). Germinación, dispersión y establecimiento de plántulas de *Mimosa tenuiflora* (Leguminosae) en México. *Revista de Biología Tropical*, 46(3), 543-554.
- Cañadas, E. M., Ballesteros, M., Valle, F., & Lorite, J. (2014). Does gypsum influence seed germination? *Turkish Journal of Botany*, 38(1), 141-147.
- Cañellas, I., & San Miguel, A. (1998). Litter fall and nutrient turnover in kermes oak (*quercus coccifera* L.) shrublands in valencia (eastern spain). *Annales Des Sciences Forestieres*, 55(5), 589-597.

Castro-Díez, P., & Navarro, J. (2007). *Water relations of seedlings of three quercus species: Variations across and within species grown in contrasting light and water regimes*

Castro-Díez, P., Navarro, J., & Maestro, M. (2008). Effects of moderate shade and irrigation with eutrophicated water on the nitrogen economy of mediterranean oak seedlings. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 203(3), 243-253.

Castro-Díez, P., Navarro, J., Pintado, A., Sancho, L. G., & Maestro, M. (2006). Interactive effects of shade and irrigation on the performance of seedlings of three mediterranean quercus species. *Tree Physiology*, 26(3), 389-400.

Castroviejo, S. (coord. gen.). 1986-2012. Flora iberica 1-8, 10-15, 17-18, 21. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.

Corcuera, L., Camarero, J. J., & Gil-Pelegrín, E. (2002). Functional groups in quercus species derived from the analysis of pressure-volume curves. *Trees - Structure and Function*, 16(7), 465-472.

Daas, C., Montpied, P., Hanchi, B., & Dreyer, E. (2008). Responses of photosynthesis to high temperatures in oak saplings assessed by chlorophyll-a fluorescence: Inter-specific diversity and temperature-induced plasticity. *Annals of Forest Science*, 65(3), 305p1-305p7.

De la Riva, E.G., Pérez-Ramos, I.M., Navarro-Fernández, C.M., Olmo, M., Marañón, T., Villar, R. 2014. Rasgos funcionales en el género Quercus: estrategias adquisitivas frente a conservativas en el uso de recursos. *Ecosistemas* 23(2): 82-89. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.11

De Viñas, I. C. R., & San Miguel Ayanz, A. (2000). Biomass of root and shoot systems of quercus coccifera shrublands in eastern spain. *Annals of Forest Science*, 57(8), 803-810.

Delitti, W., Ferran, A., Trabaud, L., & Vallejo, V. R. (2005). Effects of fire recurrence in quercus coccifera L. shrublands of the valencia region (spain): I. plant composition and productivity. *Plant Ecology*, 177(1), 57-70.

Díaz Lifante, Z. (1993). Observaciones sobre el comportamiento en la germinación de las semillas de Asphodelus L. (Asphodelaceae). *Lagascalia* 17(2): 329-352 (1993)

Díaz S. And M. Cabido. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8(4): 463-474.

Donald P. F. and A. D. Evans. 2006. Habitat connectivity and matrix restoration: the wider implications of agri-environment schemes. *Journal of Applied Ecology* 43(2): 209-218.

Escudero, A., (2009). 1520 "Vegetación gipsícola mediterránea (Gypsophiletalia) (*)". En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de*

interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 78 p.

Ferran, A., Delitti, W., & Vallejo, V. R. (2005). Effects of fire recurrence in *quercus coccifera* L. shrublands of the valencia region (spain): II. plant and soil nutrients. *Plant Ecology*, 177(1), 71-83.

Filella, I., & Peñuelas, J. (2003). Partitioning of water and nitrogen in co-occurring mediterranean woody shrub species of different evolutionary history. *Oecologia*, 137(1), 51-61.

Ganatsas, P., & Tsakaldimi, M. (2013). A comparative study of desiccation responses of seeds of three drought-resistant mediterranean oaks. *Forest Ecology and Management*, 305, 189-194. doi:10.1016/j.foreco.2013.05.042

Ganatsas, P., & Tsakaldimi, M. (2013). A comparative study of desiccation responses of seeds of three drought-resistant mediterranean oaks. *Forest Ecology and Management*, 305, 189-194.

García, A. (2015) Estrategias de revegetación de escombreras de yesos de desulfuración procedentes de centrales térmicas de carbón mediante *Atriplex halimus* y matorral mediterráneo

Garnier E., J. Cortez, G. Billés, M. Navas, C. Roumet, M. Debussche, G. Laurent, A. Blanchard, D. Aubry, A. Bellmann, C. Neill and J. -P.Toussaint. 2004. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology* 85(9): 2630-2637.

Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente (2010). Memoria resumen y análisis preliminar de incidencia ambiental del plan de zona de desarrollo rural de la comarca de Andorra-Sierra de Arcos, 16-17.

Gómez, D. al.(Eds.)(2005) Atlas de la flora de Aragón.

Gómez, J. M. (2004). Bigger is not always better: conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*, 58(1), 71-80.

González-Rodríguez, V., Barrio, I. C., & Villar, R. (2012). Within-population variability influences early seedling establishment in four mediterranean oaks. *Acta Oecologica*, 41, 82-89. doi:10.1016/j.actao.2012.04.008

Gurrea, M. (2000). Análisis de componentes principales. Proyecto e-Math Financiado por la Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD).

Healy, W. M., Lewis, A. M., & Boose, E. F. (1999). Variation of red oak acorn production. *Forest Ecology and Management*, 116(1), 1-11.

Jiménez, P., López De Heredia, U., Collada, C., Lorenzo, Z., & Gil, L. (2004). High variability of chloroplast DNA in three mediterranean evergreen oaks indicates complex evolutionary history. *Heredity*, 93(5), 510-515.

Karageorgou, P., & Manetas, Y. (2006). The importance of being red when young: Anthocyanins and the protection of young leaves of *quercus coccifera* from insect herbivory and excess light. *Tree Physiology*, 26(5), 613-621.

Kint, V., Aertsen, W., Fyllas, N. M., Trabucco, A., Janssen, E., Özkan, K., et al. (2014). Ecological traits of mediterranean tree species as a basis for modelling forest dynamics in the taurus mountains, turkey. *Ecological Modelling*, 286, 53-65.

Kleyer M. 2009. Distribution of plant functional types along gradients of disturbance intensity and resource supply in an agricultural landscape. *Journal of Vegetation Science* 7(2): 306-708.

Koenig, W. D., & Knops, J. M. (2014). Environmental correlates of acorn production by four species of Minnesota oaks. *Population Ecology*, 56(1), 63-71.

Koenig, W. D., Díaz, M., Pulido, F., Alejano, R., Beamonte, E., & Knops, J. M. (2013). Acorn production patterns. In *Mediterranean oak woodland working landscapes* (pp. 181-209). Springer Netherlands.

Kökten, K., Kaplarn, M., Hatipoglu, R., Saruhan, V., & Çinar, S. (2012). Nutritive value of mediterranean shrubs. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(1), 188-194.

Kummerow, J., Kummerow, M., & Trabaud, L. (1990). Root biomass, root distribution and the fine-root growth dynamics of *quercus coccifera* L. in the garrigue of southern france. *Vegetatio*, 87(1), 37-44.

Lavorel S. And E. Garnier. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Ecology* 16: 545-556.

Lloret F. and M. Vilá. 2009. Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands. *Journal of Vegetation Science* 14(3): 387-398.

Lloret, F., Pausas, J. G., & Vilà, M. (2003). Responses of mediterranean plant species to different fire frequencies in garraf natural park (catalonia, spain): Field observations and modelling predictions. *Plant Ecology*, 167(2), 223-235.

Llusià, J., & Peñuelas, J. (1998). Changes in terpene content and emission in potted mediterranean woody plants under severe drought. *Canadian Journal of Botany*, 76(8), 1366-1373.

Mcintyre S., S. Lavorel and R. M. Tremont. 2010. Plant life-history attributes : their relationship to in herbaceous disturbance response vegetation. *Journal of Ecology* 83(1): 31-44.

- Mercado, F. G., Luque, E. G., Delgado Fernández, I. C., De Lozano, S. H., & Torres, F. D. M. (2009). Estimation of the range of tolerance to environmental factors of various mediterranean species of forest and ecological interest. [Estimación de los rangos de tolerancia a los factores ambientales de diversas especies mediterráneas de interés ecológico- forestal] *Lazaroa*, 30, 145-159.
- Merlo, M. E., Mota, J. F., Cabello, J., & Alemán, M. M. (1998). La gipsofilia en plantas: un apasionante edafismo. *Investigación y Gestión*, 3, 103-112.
- Morales, F., Abadía, A., Abadía, J., Montserrat, G., & Gil-Pelegrín, E. (2002). Trichomes and photosynthetic pigment composition changes: Responses of *quercus ilex* subsp. *ballota* (desf.) samp. and *quercus coccifera* L. to mediterranean stress conditions. *Trees - Structure and Function*, 16(7), 504-510.
- Moruno, F., Soriano, P., Vicente, O., Boscaiu, M., & Estrelles, E. (2011). Opportunistic germination behaviour of *gypsophila* (caryophyllaceae) in two priority habitats from semi-arid mediterranean steppes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 18-23.
- Navarro, F. B., Jiménez, M. N., Ripoll, M. Á., Fernández-Ondoño, E., Gallego, E., & De Simón, E. (2006). Direct sowing of holm oak acorns: Effects of acorn size and soil treatment. *Annals of Forest Science*, 63(8), 961-967. doi: 10.1051/forest:2006079
- Navarro, T., Alados, C. L., & Cabezudo, B. (2006). Changes in plant functional types in response to goat and sheep grazing in two semi-arid shrublands of SE spain. *Journal of Arid Environments*, 64(2), 298-322.
- Núñez Granados, M. Á., Tamajón Gómez, R., & Recio Espejo, J. M. (2003). Ecological distribution of some mediterranean woody species in sierra morena region (spain) by means of pH. [Distribución ecológica en función del pH de varias especies leñosas mediterráneas en Sierra Morena (España)] *Lazaroa*, (24), 49-60.
- Padilla, F. M., Miranda, J. D. D., Ortega, R., Hervás, M., Sánchez, J., & Pugnaire, F. I. (2011). Does shelter enhance early seedling survival in dry environments? A test with eight mediterranean species. *Applied Vegetation Science*, 14(1), 31-39.
- Palacio, S., Aitkenhead, M., Escudero, A., Montserrat-Martí, G., Maestro, M., & Robertson, A. H. J. (2014). Gypsophile chemistry unveiled: Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy provides new insight into plant adaptations to gypsum soils. *Plos One*, 9(9)
- Paruelo J. M. And W. K. Lauenroth. 2010. Relative abundance of plant functional types in grasslands and shrublands of North America. *Ecological Applications* 6(4): 1212-1224.
- Pascual, G., Molinas, M., & Verdaguer, D. (2002). Comparative anatomical analysis of the cotyledonary region in three mediterranean basin *quercus* (fagaceae). *American Journal of Botany*, 89(3), 383-392.

Peguero-Pina, J. J., Gil-Pelegri, E., & Morales, F. (2013). *Three pools of zeaxanthin in quercus coccifera leaves during light transitions with different roles in rapidly reversible photoprotective energy dissipation and photoprotection*

Pereira, J. S., Beyschlag, G., Lange, O. L., Beyschlag, W., & Tenhunen, J. D. (1987). Comparative phenology of four mediterranean shrub species growing in portugal. *Plant Response to Stress: Functional Analysis in Mediterranean Ecosystems*. Proc. Sesimbra, 1985, , 503-513.

Pérez López, J. C., (2008). Factores que inciden en la calidad de la semilla. Producción de plantas, 104-105.

Pérez-Bejarano, A., Mataix-Solera, J., Zornoza, R., Guerrero, C., Arcenegui, V., Mataix-Beneyto, J., et al. (2010). Influence of plant species on physical, chemical and biological soil properties in a mediterranean forest soil. *European Journal of Forest Research*, 129(1), 15-24.

Phillips, D. L., & MacMahon, J. A. (1981). Competition and spacing patterns in desert shrubs. *The Journal of Ecology*, 97-115.

Piñol, J., Filella, I., Ogaya, R., & Peñuelas, J. (1998). Ground-based spectroradiometric estimation of live fine fuel moisture of mediterranean plants. *Agricultural and Forest Meteorology*, 90(3), 173-186.

Polunin, O. (1982). Guía de campo de las flores de Europa (No. 635.9 P6Y).

Purves, D. W., Zavala, M. A., Ogle, K., Prieto, F., & Rey Benayas, J. M. (2007). Environmental heterogeneity, bird-mediated directed dispersal, and oak woodland dynamics in mediterranean spain. *Ecological Monographs*, 77(1), 77-97.

Pywell R. F., J. M. Bullock, D. B. Roy, L. Warman, K. J. Walker and P. Rothery. 2003. Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *Journal of Applied Ecology* 40: 65-77.

Quétier F., A. Thebault and S. Lavorel. 2007. Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological Monographs* 77: 33-52.

Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). "Experimental design and data analysis for biologists". Cambridge University Press

Rambal, S. (1992). *Quercus ilex* facing water stress: A functional equilibrium hypothesis. *Vegetatio*, 99-100(1), 147-153.

Rambal, S. (1993). The differential role of mechanisms for drought resistance in a mediterranean evergreen shrub: A simulation approach. *Plant, Cell & Environment*, 16(1), 35-44.

Ranal, M. A., & Santana, D. G. D. (2006). How and why to measure the germination process?. *Brazilian Journal of Botany*, 29(1), 1-11

Rey Benayas, J. M., Fernández, A., & Aubenau, A. (2007). Clipping herbaceous vegetation improves early performance of planted seedlings of the mediterranean shrub *quercus coccifera*. *Web Ecology*, 7, 120-131.

Rivas-Martínez, S., (1983). Pisos bioclimáticos de España. Lazaroa, 5:33-43.

Rodríguez, I., Adam, G., & Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912), 836-842.

Roth-Nebelsick, A., Fernández, V., Peguero-Pina, J. J., Sancho-Knapik, D., & Gil-Pelegrín, E. (2013). Stomatal encryption by epicuticular waxes as a plastic trait modifying gas exchange in a mediterranean evergreen species (*quercus coccifera* L.). *Plant, Cell and Environment*, 36(3), 579-589.

Rubio De Casas, R., Vargas, P., Pérez-Corona, E., Cano, E., Manrique, E., García-Verdugo, C., et al. (2009). Variation in sclerophyllly among iberian populations of *quercus coccifera* L. is associated with genetic differentiation across contrasting environments. *Plant Biology*, 11(3), 464-472.

Rubio De Casas, R., Vargas, P., Pérez-Corona, E., Manrique, E., Quintana, J. R., García-Verdugo, C., et al. (2007). Field patterns of leaf plasticity in adults of the long-lived evergreen *quercus coccifera*. *Annals of Botany*, 100(2), 325-334.

Sakcali, M. S., & Ozturk, M. (2004). Eco-physiological behaviour of some mediterranean plants as suitable candidates for reclamation of degraded areas. *Journal of Arid Environments*, 57(2), 141-153.

Sanz Pérez, V., Castro Díez, P., & Valladares, F. (2007). Growth versus storage: Responses of mediterranean oak seedlings to changes in nutrient and water availabilities. *Annals of Forest Science*, 64(2), 201-210.

Sanz-Pérez, V., & Castro-Díez, P. (2010). Summer water stress and shade alter bud size and budburst date in three mediterranean *quercus* species. *Trees - Structure and Function*, 24(1), 89-97.

Sanz-Pérez, V., Castro-Díez, P., & Millard, P. (2009). Effects of drought and shade on nitrogen cycling in the leaves and canopy of mediterranean *quercus* seedlings. *Plant and Soil*, 316(1-2), 45-56.

Soriano, P., Moruno, F., Boscaiu, M., Vicente, O., Hurtado, A., Llinares, J. V., et al. (2014). Is salinity the main ecologic factor that shapes the distribution of two endemic mediterranean plant species of the genus *gypsophila*? *Plant and Soil*, 384(1-2), 363-379.

- Trubat, R., Cortina, J., & Vilagrosa, A. (2008). Short-term nitrogen deprivation increases field performance in nursery seedlings of mediterranean woody species. *Journal of Arid Environments*, 72(6), 879-890.
- Trubat, R., Cortina, J., & Vilagrosa, A. (2011). Nutrient deprivation improves field performance of woody seedlings in a degraded semi-arid shrubland. *Ecological Engineering*, 37(8), 1164-1173.
- Tsakaldimi, M., Ganatsas, P., & Jacobs, D. F. (2013). Prediction of planted seedling survival of five mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests*, 44(3), 327-339.
- Valladares, F., Balaguer, L., Martinez-Ferri, E., Perez-Corona, E., & Manrique, E. (2002). Plasticity, instability and canalization: Is the phenotypic variation in seedlings of sclerophyll oaks consistent with the environmental unpredictability of mediterranean ecosystems? *New Phytologist*, 156(3), 457-467.
- Valladares, F., Martinez-Ferri, E., Balaguer, L., Perez-Corona, E., & Manrique, E. (2000). Low leaf-level response to light and nutrients in mediterranean evergreen oaks: A conservative resource-use strategy? *New Phytologist*, 148(1), 79-91.
- Verdaguer, D., Vilagran, J., Lloansi, S., & Fleck, I. (2011). *Morphological and physiological acclimation of quercus coccifera L. seedlings to water availability and growing medium*
- Verheyen K. And M. Hermy. 2001. An integrated analysis of the spatio-temporal colonization patterns of forest plant species. *Journal of Vegetation Science* 12: 567-578.
- Vilagrosa, A., Bellot, J., Vallejo, V. R., & Gil-Pelegrín, E. (2003). Cavitation, stomatal conductance, and leaf dieback in seedlings of two co-occurring mediterranean shrubs during an intense drought. *Journal of Experimental Botany*, 54(390), 2015-2024.
- Vilagrosa, A., Morales, F., Abadía, A., Bellot, J., Cochard, H., & Gil-Pelegrin, E. (2010). Are symplast tolerance to intense drought conditions and xylem vulnerability to cavitation coordinated? an integrated analysis of photosynthetic, hydraulic and leaf level processes in two mediterranean drought-resistant species. *Environmental and Experimental Botany*, 69(3), 233-242.
- Werner, C., Correia, O., & Beyschlag, W. (1999). Two different strategies of mediterranean macchia plants to avoid photoinhibitory damage by excessive radiation levels during summer drought. *Acta Oecologica*, 20(1), 15-23.
- Werner, C., Ryel, R. J., Correia, O., & Beyschlag, W. (2001). Effects of photoinhibition on whole-plant carbon gain assessed with a photosynthesis model. *Plant, Cell and Environment*, 24(1), 27-40.

Werner, C., Ryel, R. J., Correia, O., & Beyschlag, W. (2001). Structural and functional variability within the canopy and its relevance for carbon gain and stress avoidance. *Acta Oecologica*, 22(2), 129-138.

Yasin, K., & Bahtiyar, L. A. (2014). *Biomass equations and aboveground biomass carbon stocks of kermes oak (quercus coccifera L.) in southwestern turkey* Research Journal of BioTechnology.

7. ANEXOS:

ANEXO I: ÁREA DE ESTUDIO (ÁREA DE RECOLECCIÓN DE LAS BELLOTAS)

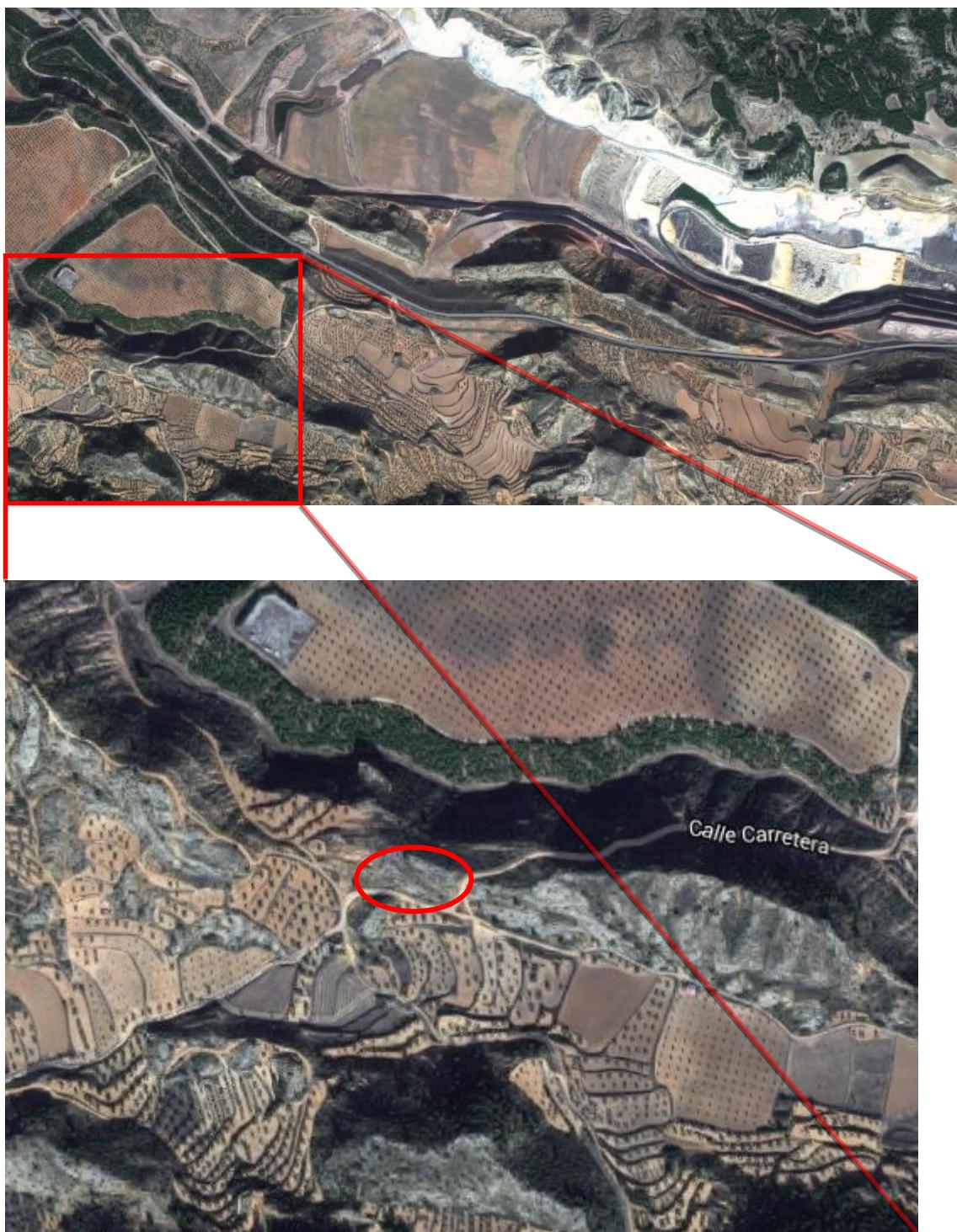


Figura 1: Localización de la mina Corta Barrabasa y de la zona de recolección de bellotas

ANEXO II: TABLA RESUMEN DE LOS RASGOS FUNCIONALES DE *QUERCUS COCCIFERA* L. RECOPILADOS EN LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

TRAITS GROUPS	TRAITS	SPECIFICATIONS	DATA	UNITS	DATA TYPE	FUENTE
SEED BIOLOGY	Dry weight (mass)		4,63	g	mean	A.C.
	Germination percentage (GP)		97	%	mean	D.P.
	Germination percentage (GP): large seeds		100	%	mean	D.P.
	Germination percentage (GP): medium seeds		98	%	mean	D.P.
	Germination percentage (GP): small seeds		93	%	mean	D.P.
	Germination rate (T50)		5,5	days	mean	D.P.
	Initial moisture content		37,06	%	mean	A.C.
	Length		4,5	cm	mean	A.C.
	Length/Width ratio		2,87	-	mean	A.C.
	Maximum Seed Size		8,3276	g	single	D.P.
	Mean germination time (MGT)		8	days	mean	D.P.
	Mean germination time (MGT): large seeds		9,15	days	mean	D.P.
	Mean germination time (MGT): medium seeds		6,34693878	days	mean	D.P.
	Mean germination time (MGT): small seeds		8,53763441	days	mean	D.P.
	Mean Seed Size		3,42626706	g	mean	D.P.
	Minimum Seed Size		0,6892	g	single	D.P.
	Probability of desiccation sensitivity		0,68	P	mean	A.C.
	Seed coat ratio (SCR)		0,24	-	mean	A.C.
	Seed coat thickness		0,68	mm	mean	A.C.
	Seed coat weight		1,07	g	mean	A.C.
	Seed dry mass		1743,41333	mg	mean	TRY
	Seeds Size Range: Large		> 4,8	g	range	D.P.
	Seeds Size Range: Medium		3,0 - 4,8	g	range	D.P.

ENVIRONMENTAL ASSOCIATION	Seeds Size Range: Small		< 3,0	g	range	D.P.
	Width		1,4	cm	mean	A.C.
	Absolute minimum temperature threshold to allow regeneration (Frost temp)		-11	°C	mean	A.C.
	CaCO ₃ in soil	unburned	1,28	%	mean	A.C.
	Crown projected area		560,075	cm ²	mean	A.C.
	Cumulative proportion surviving (final survival rates)		18,525	%	mean	A.C.
	Daily photosynthetic photon flux density (PFD)	sun mean	47,4	mol/m ² .d	mean	A.C.
	Daily photosynthetic photon flux density (PFD)	shade mean	9,1	mol/m ² .d	mean	A.C.
	Heat requirement (Min DD) for growth and regeneration		1600	°C	mean	A.C.
	Litter carbon/nitrogen (C/N) ratio		54,9	kg C per kg N	single	TRY
	Litter cellulose content per litter dry mass		36,4	%	-	TRY
	Litter decomposition rate	Litter mass loss	38,6	%	-	TRY
	Litter lignin content per litter dry mass		18,8	%	-	TRY
	Midday photon flux density PFD	sun mean	1952	micromol/m ² .s	mean	A.C.
	Midday photon flux density PFD	shade mean	506	micromol/m ² .s	mean	A.C.
	Midday photosynthetic photon flux density (PPFD) at leaf surface		807,143333	micromol/m ² .s	mean	A.C.
	Midday vapour pressure deficit	sun mean	5,6	kPa	mean	A.C.
	Midday vapour pressure deficit	shade mean	3,9	kPa	mean	A.C.
	Mineral composition of leaf litter fall	N	9,5	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
		P	0,5	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
		K	3,4	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
		Ca	13,2	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
		Mg	1,9	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
		Na	2	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
		Fe	138	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
		Mn	126	microg/g (D.M.)	mean	A.C.

Mineral composition of woody litter fall pH soil Soil depth Stones in soil Temperature threshold for regeneration loss caused by late frost (LateFrost temp)	Cu	7	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Zn	47	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	N	8	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	P	0,5	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	K	2,7	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Ca	19,2	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Mg	1,2	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Na	1,3	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Fe	292	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Mn	48	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Cu	10	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Zn	34	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	pH soil	6,5975	pH	mean	A.C.
	Soil depth	unburned	18,2	cm	mean
	Stones in soil	unburned	38	%	mean
Morphology	Temperature threshold for regeneration loss caused by late frost (LateFrost temp)	-3	°C	mean	A.C.
	"Slenderness" of a tree, associating height growth of an individual with its diameter growth (s)	37	cm/cm	-	A.C.
	Aboveground biomass	15,1	mg*ha-1 D.M.	mean	A.C.
	Belowground biomass	53,5	mg*ha-1 D.M.	mean	A.C.
	Displayed area	0,335	cm ² /cm ²	mean	A.C.
	Growth rate of a free standing tree under optimal conditions (g)	46	cm/year	mean	A.C.
	Internode length	4,25	mm	mean	A.C.
	Leaf angle	39,829	°	mean	A.C.
	Leaf area (LA)	1,95076092	cm ²	mean	A.C./TRY
	Leaf area index (LAI)	1,88	m*m-2	mean	A.C.
	Leaf area to plant mass ratio (LAR)	24,6312946	cm ² /g	mean	A.C./TRY

Leaf biomass (BL)		429,583333	g/m2	mean	A.C.
Leaf chlorophyll		1265,3	microg/g	mean	A.C.
Leaf density		0,54	g/cm3	mean	A.C.
Leaf dry mass per leaf fresh mass (Leaf dry matter content, LDMC)	Leaf dry matter content per leaf water-saturated mass (LDMC)	0,34994448	g·g-1	mean	TRY
Leaf dry matter content		0,52	mg/g	mean	A.C.
Leaf length		2,11421308	cm	mean	TRY
Leaf lobation index (ILB)		0,23	cm/cm	mean	A.C.
Leaf mass per area (LMA)		177,5	g/m2	mean	A.C.
Leaf mass to plant mass ratio (LMR)		25,25	%	mean	A.C.
Leaf petiole length		0,25	cm	mean	TRY
Leaf size		2,75	cm2	mean	A.C.
Leaf specific mass (LSM)		21,06	mg/cm2	mean	A.C.
Leaf spininess index (SPIN)		1,93333333	spines/cm	mean	A.C.
Leaf thickness		0,69758621	mm	mean	A.C./TRY
Leaf weight ratio (LWR)		16,82	%	mean	A.C
Leaf weight ratio (LWR)		0,28729227	g/g	mean	TRY
Leaf width		1,37610847	cm	mean	TRY
Lobulation (perimeter/area)		4,1	cm/cm2	mean	A.C.
Maximum diameter (long-term asymptote) a tree can reach under optimal conditions (Dmax)		100	cm	mean	A.C.
Maximum height (long-term asymptote) a tree can reach under optimal conditions (Hmax)		2000	cm	mean	A.C.
Paracotyledon dry mass		279,28125	mg	-	TRY
Plant area		8	m2	mean	A.C.
Plant biomass (BT)		18,185	g	mean	A.C.
Plant biovolume		6,86364333	cm3	mean	D.P.
Plant height		133,446345	cm	mean	A.C./TRY
Plant length		215,333333	cm	mean	A.C.

Plant volume		7,16666667	m3	mean	A.C.
Plant width		216	cm	mean	A.C.
Plant relative growth rate (RGR)		0,05015	d-1	mean	TRY
Seedling relative growth rate (RGR)		0,021	week-1	mean	A.C.
Root density		0,47	g/cm3	mean	A.C.
Root diameter		0,71	mm	mean	A.C.
Root dry mass per plant dry mass	root weight fraction (RWF or RMR or RWR)	0,47298641	g/g	-	TRY
Root dry matter content		0,41	mg/g	mean	A.C.
Root lenght		25,86	cm	mean	A.C.
Root weight		34,0214286	g	mean	A.C.
Root weight ratio		69,8833333	%	mean	A.C.
Root/shoot ratio (R/S)		1,708	g/g	mean	A.C.
Rooting depth		4,5	m	single	TRY
Roots biomass (BR)		5,25	g	mean	A.C.
Root-shoot ratio		1,1925	-	mean	A.C.
Self-shaded area (SSA)		0,2625	-	mean	A.C.
Shoot biomass (BS)		9,625	g	mean	A.C.
Shoot branching density	Shoot main branching density	0,19510888	cm-2	mean	TRY
Shoot branching number	Shoot main branching number	7,57894737	1/shoot	mean	TRY
Shoot height		19,75	cm	mean	A.C.
Shoot height per supporting biomass		144,825	mm/g	mean	A.C.
Shoot volume		1269,25	cm3	mean	A.C.
Shoot weight		6,175	g	mean	A.C.
Shoot:root ratio		0,46	-	mean	A.C.
Specific leaf area (SLA)	Leaf area per leaf dry mass (specific leaf area, SLA)	53,8547127	cm2/g	mean	A.C.
		5,17412738	cm ² .g	mean	TRY

Specific root area		13,13	cm ² /g	mean	A.C.
Stem conduit cross-sectional area (vessels and tracheids)	Conduit Area	3,9761*10 ⁻¹⁰	mm ²	mean	TRY
Stem conduit cross-sectional area (vessels and tracheids)	Stem vessel area	0,14032567	(micro m) ²	single	TRY
Stem conduit diameter (vessels, tracheids)		13,3683333	micro m	mean	TRY
Stem conduit lumen cross-sectional area (vessels and tracheids) per stem sapwood cross-sectional area		0,03180863	mm ² /mm ²	mean	TRY
Stem cross-sectional area	fraction of tissue other than pith or xylem	0,79029071	%	-	TRY
Stem cross-sectional area	fraction of xylem	0,09499116	%	-	TRY
Stem cross-sectional area	fraction of xylem cell wall	0,05459547	%	-	TRY
Stem cross-sectional area tissue types: pith, xylem, others	Stem area pith	0,1033445	(micro m) ²	-	TRY
Stem cross-sectional area tissue types: pith, xylem, others	Stem area xylem	0,80884419	(micro m) ²	-	TRY
Stem cross-sectional area tissue types: pith, xylem, others	Stem area other tissues but pith and xylem	0,66833953	(micro m) ²	-	TRY
Stem diameter		6,26666667	mm	mean	A.C.
Stem dry mass per plant		13,41875	g	single	TRY
Stem dry mass per plant dry mass	Ratio of stem mass to whole plant mass	0,07596771	g/g	-	TRY
Stem dry matter content		0,53	mg/g	mean	A.C.
Stem fraction cell wall in xylem		0,57666667	%	-	TRY
Stem fraction of pith		0,11471812	%	-	TRY
Stem length		22,25	mm	-	TRY
Stem volume		0,18969648	mm ³	-	TRY
Stem weight ratio		13,2966667	%	mean	A.C.
Stems biomass		923,04	g/m ²	mean	A.C.
Supporting biomass	shoot weight percentage	0,29	%	mean	A.C.
Total leaf area (TLA)		198,596667	cm ²	mean	A.C.
Total plant biomass		1326,32	g/m ²	mean	A.C.
Total seedling biomass		9,56	g	mean	A.C.

	Vessel diameter	Vessels: Earlywood vessels: Tangential diameter	100-200	micro m	range	TRY
	Vessel number in early wood		100-200	1/mm2	range	TRY
	Wood density		0,616845	g/cm3	mean	A.C.
			0,00697254	cm3/mg	mean	TRY
Physiology	Assumed maximum tree age (Agemax)		450	year	mean	A.C.
	Bulk modulus of elasticity (Emax)		25,4	-Mpa	mean	A.C.
	C/N ratio in leaves		44,8	-	mean	A.C.
	C/N ratio in stems		102,55	-	mean	A.C.
	Canopy nitrogen content (Ncanopy)		33,3375	mg	mean	A.C.
	Canopy nitrogen lost (Nlostcanopy)		4,475	mg	mean	A.C.
	Carbon gain		81,425	mmol CO2/ m2.d	mean	A.C.
	Carbon gain		2,4325	mmol CO2/ plant.d	mean	A.C.
	Carbon gain		62,25	%	mean	A.C.
	Carbon content in leaves		49,3325	%	mean	A.C.
	Carbon content in rhizomes		46,085	%	mean	A.C.
	Carbon content in stems		47,47	%	mean	A.C.
	Carboxylase capacity	activation energy	74400	J/mol	mean	A.C.
	Carboxylase capacity	energy of deactivation	197500	J/mol	mean	A.C.
	Carboxylase capacity	entropy term	648	J/K.mol	mean	A.C.
	Carotenoids per leave area		143,55	mg/m2	mean	A.C.
	Carotenoids per leave mass		0,97	mg/g	mean	A.C.
	Carotenoids: Chl		0,5415	mol/mol	mean	A.C.
	Chl a: Chl b		2,175	-	mean	A.C.
	Chl per leave area		428,6	mg/m2	mean	A.C.
	Chl per leave mass		2,995	mg/g	mean	A.C.
	Concentration of soluble sugars (SS)		31,0566667	mg/g	mean	A.C.

Daily photon flux density absorption		14,55	mol photons/m ² .d	mean	A.C.
Daily photon flux density absorption		55,75	%	mean	A.C.
Dark respiration	activation energy	55000	J/mol	mean	A.C.
DPS midday		0,495	-	mean	A.C.
DPS predawn		0,25	-	mean	A.C.
Electron transport capacity	activation energy	43500	J/mol	mean	A.C.
Electron transport capacity	energy of deactivation	200000	J/mol	mean	A.C.
Electron transport capacity	entropy term	656	J/K.mol	mean	A.C.
Hydraulic conductivity (Kh)		0,0000005	kg.m/s.Mpa	mean	A.C.
Instantaneous nitrogen-use efficiency (NUE)		1,825	micromol CO ₂ /g N.s	mean	A.C.
Leaf dark respiration on a mass (Rd-mass)		1,2975	micromol/kg.s	mean	A.C.
Leaf dark respiration on an area basis (Rd-area)		0,235	micromol/m ² .s	mean	A.C.
Leaf nitrogen content (Nleaf)		0,49875	mg	mean	A.C.
Leaf nitrogen lost (Nlostleaf)		0,435	mg	mean	A.C.
Leaf nitrogen resorption efficiency (NREleaf)		23,865	%	mean	A.C.
Leaf nitrogen/phosphorus (N/P) ratio		11,35	mg/g	mean	TRY
Leaf specific conductivity (LSC)		0,000146	kg/s.m.Mpa	mean	A.C.
Leaves spring net primary production		118,18	g/m ² .season	mean	A.C.
Light compensation point for photosynthesis		63,5	-	mean	A.C.
Lutein:Chl		196,2	mmol/mol	mean	A.C.
Maximum net assimilation rate per leaf area (Amax-area)		6,43	micromol/m ² .s	mean	A.C.
Maximum net assimilation rate per leaf mass (Amax-mass)		36,575	micromol/kg.s	mean	A.C.
Maximum net assimilation rate per leaf nitrogen unit (PNUE)		2,615	micromol/g.s	mean	A.C.
Maximum photochemical efficiency of PSII (Fv/Fm)		0,769	-	mean	A.C.
Midday nonphotochemical quenching		0,68	-	mean	A.C.
Midday photochemical efficiency of the open reaction centres of PSII		0,8	-	mean	A.C.

	Midday photochemical quenching		0,6725	-	mean	A.C.
	Mortality percentage of 10 month-old seedlings		2,5	%	mean	A.C.
	Mortality percentage of 18 month-old seedlings		19,375	%	mean	A.C.
	Midday quantum yield of non cyclic electron transport		0,4775	-	mean	A.C.
	N:chlorophylls a+b ratio		412,75	mol N/mol Chl	mean	A.C.
	Neoxanthin:Chl		55,175	mmol/mol	mean	A.C.
	Nutrients concentration in plant	N	11,7425	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in rhizomes	P	0,260025	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in rhizomes	K	2,9941	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in roots	N	11,025	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling leaves	N	0,43	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling leaves	P	0,2325	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling leaves	K	0,3	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling plant	N	8,35	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling plant	P	2,19	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling plant	K	5,14	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling roots	N	0,4675	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling roots	P	0,655	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling roots	K	0,54	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling stems	N	0,1125	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling stems	P	0,12	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in seedling stems	K	0,16	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in stems	N	9,1175	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients concentration in stems	P	0,245475	mg/kg	mean	A.C.
	Nutrients concentration in stems	K	2,557275	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	N	6,1	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	P	0,4	mg/g (D.M.)	mean	A.C.

	Nutrients content per bark mass	K	1,9	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	Ca	27,6	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	Mg	1	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	Na	2,4	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	Fe	239	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	Mn	179	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	Cu	9	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per bark mass	Zn	22	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per leave area	K	1,275	g/m ²	mean	A.C.
	Nutrients content per leave area	N	2,64625	g/m ²	mean	A.C.
	Nutrients content per leave area	P	0,42	g/m ²	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	N	13,5679688	mg/g	mean	A.C./TRY
	Nutrients content per leave mass	P	1,35109583	mg/g	mean	A.C./TRY
	Nutrients content per leave mass	K	5,57365833	mg/g	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	Ca	11,3	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	Mg	1,7	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	Na	0,3	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	Fe	140	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	Mn	190	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	Cu	8	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per leave mass	Zn	27	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	N	4,8	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	P	0,3	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	K	3,3	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	Ca	13,6	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	Mg	1,7	mg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	Na	0,1	mg/g (D.M.)	mean	A.C.

	Nutrients content per wood mass	Fe	90	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	Mn	30	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	Cu	7	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients content per wood mass	Zn	22	microg/g (D.M.)	mean	A.C.
	Nutrients percentage in leaves	N	1,2691875	%	mean	A.C./TRY
	Nutrients percentage in leaves	senescent N	0,82	%	single	TRY
	Nutrients percentage in leaves	P	0,08	%	mean	TRY
	Nutrients percentage in leaves	senescent P	0,03	%	single	TRY
	Nutrients percentage in rhizomes	N	0,502	%	mean	A.C.
	Nutrients percentage in stems	N	0,4745	%	mean	A.C.
	Osmotic potential at full turgor (π_0)		2,7	-Mpa	mean	A.C.
	Photosynthetic capacity	Per area	4,79	micromol CO ₂ /m ² .s	mean	A.C.
	Photosynthetic capacity	Per mass	33,025	micromol CO ₂ /kg.s	mean	A.C.
	Photosynthetic nitrogen use efficiency (NUE) in seedlings		29,4	mmol CO ₂ /g leaf . N day	mean	A.C.
	Pool of xanthophyll cycle pigments on a total chlorophyll basis for each population and exposure (VAZ)		84,1744444	mmol/mol	mean	A.C.
	Plant ontogeny: age of maturity (first flowering)		1,67	year	-	TRY
	Plant resprouting capacity		100	%	mean	TRY
	Plant vegetative reproduction: lateral spread		66005,807	cm ²	mean	TRY
	Predawn photochemical efficiency of PSII		0,805	-	mean	A.C.
	Proportion of whole-canopy N pool resorbed before leaf abscission (PNRcanopy)		3,8825	%	mean	A.C.
	Quantum use efficiency ϕ		0,06	mol CO ₂ /mol photons	mean	A.C.
	Relative water content at turgor loss point (RWCltp)		87	%	mean	A.C.
	Respiration		3,4375	micromol CO ₂ /m ² .s	mean	A.C.
	Specific conductivity (Ks)		0,29	kg.m/s.Mpa	mean	A.C.

Stems spring net primary production	72,03	g/m2.season	mean	A.C.
Total chlorophyll concentration on a leaf area basis (Chl a+b)	703,458889	micromol/m2	mean	A.C.
Total spring net primary production	190,22	g/m2.season	mean	A.C.
Transpiration	22,75	mol H2O/m2.d	mean	A.C.
Transpiration	60,25	%	mean	A.C.
VAZ:Chl midday	122,325	-	mean	A.C.
VAZ:Chl predawn	144,675	-	mean	A.C.
Water content	0,515	-	mean	A.C.
Water potential at the turgor loss point (Ψ_{tlp})	3,5	-Mpa	mean	A.C.
Water use efficiency (WUE)	3,1	mmol CO2/ mol H2O	mean	A.C.
Water use efficiency (WUE)	92	%	mean	A.C.
β -carotene content on a total chlorophyll basis	110,007727	mmol/mol	mean	A.C.

Tabla resumen en la que se recoge toda la información procedente de la revisión bibliográfica de rasgos funcionales de *Quercus coccifera*.

Abreviaturas de las fuentes bibliográficas: A.C. (información de artículos científicos procedentes de la revisión bibliográfica, TRY (información procedente de TRY database) y D.P. (datos propios calculados en este trabajo)

*En caso de que para un rasgo funcional se hayan aportado atributos de diferentes fuentes bibliográficas, aparecerán todas ellas en la casilla correspondiente separadas por una barra vertical (/)

**Para aquellos atributos que no se conoce que tipo de dato son (media, muestra simple,...), aparece un guión (-) en la columna de DATA TYPE

***Para aquellos atributos cuyas unidades de medida no se conocen o es adimensional, aparece un guión (-) en la columna de UNITS

****En la columna SPECIFICATIONS aparecen aclaraciones o especificaciones de algunos rasgos funcionales

ANEXO III: RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DEL ENSAYO DE GERMINACIÓN DE *QUERCUS COCCIFERA* L.

	DÍA MUESTREO	10/12/2014	12/12/2014	15/12/2014	18/12/2014	22/12/2014	08/01/2015
GRUPOS DE TAMAÑO	RÉPLICAS	BELLOTAS GERMINADAS					
G1 bellotas medianas	G1_1	4	4	12	4	0	1
	G1_2	6	6	8	5	0	0
	G1_3	3	8	9	2	1	1
	G1_4	5	7	9	2	1	0
G2 bellotas grandes	G2_1	1	8	7	5	3	1
	G2_2	1	4	8	10	1	1
	G2_3	1	7	8	4	3	2
	G2_4	4	6	6	2	3	4
G3 bellotas pequeñas	G3_1	3	7	4	5	5	0
	G3_2	2	7	5	5	4	0
	G3_3	1	3	4	7	6	2
	G3_4	5	4	6	4	3	1
NUEVAS BELLOTAS GERMINADAS POR MUESTREO		36	71	86	55	30	13
TOTAL BELLOTAS GERMINADAS		36	107	193	248	278	291

Resultados del seguimiento del ensayo de germinación. En esta tabla se incluye para cada día de muestreo el nº total de bellotas germinadas, así como el nº acumulado de bellotas germinadas desde el comienzo del ensayo. También se incluye el nº de bellotas que han germinado en cada muestreo que se ha llevado a cabo para cada réplica de los tres grupos de tamaño.

ANEXO IV: RESULTADOS DEL TEST DE NORMALIDAD Y HOMOCEASTICIDAD PARA LOS CONJUNTOS DE DATOS DE TIEMPO MEDIO DE GERMINACIÓN Y DEL NÚMERO DE BELLOTAS GERMINADAS

Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Significancia
0,764	12	0,004

Outputs del test de normalidad de Shapiro-Wilk para el conjunto de datos del número de bellotas germinadas.

Fuente: Elaboración propia

Shapiro-Wilk		
Estadístico	gl	Significancia
0,959	12	0,766

Outputs del test de normalidad de Shapiro-Wilk para el conjunto de datos del tiempo medio de germinación.

Fuente: Elaboración propia.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Significancia
Basándose en la media	1,59	2	9	0,256
Basándose en la mediana	0,137	2	9	0,874
Basándose en la mediana y con gl corregido	0,137	2	3,724	0,876
Basándose en la media recortada	1,195	2	9	0,347

Outputs del test de homoceasticidad de Levene para el conjunto de datos del tiempo medio de germinación.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO V: FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO DE LABORATORIO



Foto 1: Pesaje de las bellotas en balanza de precisión para establecer posteriormente los grupos de tamaño y clasificarlas según su peso.



Foto 2: Cámara de germinación con las bandejas en las que se han sembrado las bellotas en turba y termohigrómetro para control de temperatura y humedad.



Foto 3: Detalle de una de las bandejas. Se puede apreciar que las bellotas que ya han germinado han sido marcadas con un rotulador