

Técnicas para promover la regeneración del arbolado en dehesas mediterráneas

M. Martínez-Muñoz¹, L. Gómez-Aparicio¹, I.M. Pérez-Ramos^{1,*}

(1) Departamento de Biogeoquímica, Ecología Vegetal y Microbiana, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), Av. Reina Mercedes 10, 41012, Sevilla, España.

* Autor de correspondencia: Ignacio M. Pérez-Ramos [imperez@irnase.csic.es]

> Recibido el 28 de junio de 2019 - Aceptado el 15 de octubre de 2019

Martínez-Muñoz, M., Gómez-Aparicio, L., Pérez-Ramos, I.M. 2019. Técnicas para promover la regeneración del arbolado en dehesas mediterráneas. *Ecosistemas* 28(3):142-149. Doi.: 10.7818/ECOS.1798

Las dehesas presentan un serio problema de falta de regeneración natural de sus especies arbóreas dominantes. Aunque existen diferentes técnicas de regeneración asistida para tratar de paliar este problema, se hacen necesarios nuevos estudios que analicen su eficiencia ante futuros escenarios de cambio climático. En este trabajo se han revisado los principales factores que limitan la regeneración asistida de especies de *Quercus* en ecosistemas de dehesa y se ha identificado el grado de eficiencia de las principales técnicas empleadas para promover el reclutamiento de árboles desde una perspectiva agroecológica. Para ello, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica y se han realizado entrevistas a investigadores relevantes en la materia de este estudio. Los resultados indican que los principales factores limitantes de la regeneración asistida son el estrés hídrico, las desfavorables condiciones del suelo, las altas tasas de depredación de semillas y la herbivoría de plántulas y brinzales. En la segunda parte del trabajo se recomiendan una serie de técnicas agroecológicas en función del grado de eficiencia reportado en estudios científicos previos, y se resaltan aquellas destacadas por los expertos que merecen un mayor esfuerzo de investigación (p.ej. el uso de plantas nodrizas o la aplicación de riegos). La información aportada por este trabajo podrá ser usada como herramienta útil en los planes de gestión y conservación de las dehesas con el fin de asegurar su persistencia y potenciar su capacidad de adaptación ante futuros escenarios de cambio climático.

Palabras clave: arbustos facilitadores; estrés hídrico; herbivoría; reforestación; *Quercus ilex*; *Quercus suber*

Martínez-Muñoz, M., Gómez-Aparicio, L., Pérez-Ramos, I.M. 2019. Techniques to promote tree regeneration in Mediterranean savannah-like ecosystems. *Ecosistemas* 28(3):142-149. Doi.: 10.7818/ECOS.1798

Savannah-like ecosystems have a serious problem of lack of natural regeneration of their dominant tree species. Although there are different techniques of assisted regeneration to alleviate this problem, further scientific studies will be necessary to analyze the efficiency level of these techniques under future climate change scenarios. In this study, we have reviewed the main factors limiting assisted regeneration of oak species in dehesa ecosystems, and we have identified the efficiency level of the main techniques commonly used to promote tree recruitment from an agro-ecological perspective. For this purpose, we have carried out a bibliographic review and conducted surveys to some researchers with relevant experience in this area. Results from this study indicate that water stress during summer, the unfavorable soil conditions over seedling establishment and the high seed predation rates and plant grazing are the most limiting factors for oak recruitment in the study ecosystems. In the second part of the study, we recommended a number of agro-ecological techniques as a function of the efficiency level reported in previous scientific studies, and we highlighted those techniques that require further investigation according to experts' opinions (e.g. the use of nurse plants or the application of watering treatments). The information provided by this study will be used as a useful tool in management and conservation plans of dehesas with the aim of assuring their persistence and potentiating their adaptation abilities under future environmental scenarios.

Keywords: grazing; nurse shrubs; *Quercus ilex*; *Quercus suber*; reforestation; water stress

Introducción

Las dehesas: Problemática actual y perspectivas de futuro

Las dehesas son sistemas de explotación ganadera y/o cinegética de carácter multifuncional, constituidos por árboles aislados productores de bellotas que aparecen embebidos en una densa matriz de vegetación herbácea típica de pastizal (Pulido y Picardo 2010). La relevancia socio-económica de este tipo de sistemas se manifiesta no sólo por su enorme extensión en Europa y otras regiones del mundo (Papanastis 2004), sino también por la alta diversidad de servicios ecosistémicos que proporcionan (Moreno y Pulido 2009), destacando la producción de pastos para el ganado,

su papel como reservorios de carbono, su alto valor cultural para el ecoturismo y la recreación, así como su capacidad para el aprovisionamiento de multitud de productos (cultivo de cereales, madera, corcho, carbón, setas, etc.). Sin embargo, la sostenibilidad y persistencia a largo plazo de las dehesas han sido seriamente cuestionadas en las últimas décadas debido a la acción conjunta e interactiva de varios factores (Campos et al. 2013).

Una de las principales amenazas deriva de la sustitución del tradicional régimen extensivo de pastoreo, de baja intensidad, por otro más intensivo y mecanizado, probablemente impuesto por los cambios en las condiciones socio-económicas de la población rural así como en la política de gestión agroforestal (Plieninger y Wilbrand 2001; San Miguel 2005; Eichhorn et al. 2006). Así, por ejem-

plo, el régimen de subsidios que ha incentivado a los propietarios de las dehesas en función del número de cabezas de ganado que sustentaban, ha conllevado en muchos casos un problema de sobre-pastoreo, con importantes consecuencias ecológicas para el ecosistema (Bugalho et al. 2011).

Otra fuente de amenaza está relacionada con las condiciones climatológicas pronosticadas por los modelos de cambio climático, que para la Cuenca Mediterránea predicen un incremento de las temperaturas y un descenso anual de las precipitaciones, así como un aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos (IPCC 2013). Estas nuevas condiciones climatológicas podrían tener consecuencias para la estructura y la dinámica de las poblaciones de árboles que sustentan las dehesas (encinas y alcornoques, predominantemente), al ser especies particularmente vulnerables a la sequía durante las fases iniciales de sus ciclos de vida (Gómez-Aparicio et al. 2008; Pérez-Ramos 2014). No existen estudios experimentales en ecosistemas de tipo dehesa que hayan evaluado cómo las nuevas condiciones ambientales podrían afectar al reclutamiento de sus especies arbóreas dominantes; sin embargo, algunos estudios previos en bosques mediterráneos sugieren que el predecible aumento de aridez podría agravar los efectos negativos del estrés hídrico sobre determinadas fases demográficas, limitando la producción de semillas viables (e.g. Pérez-Ramos et al. 2010) o dificultando el establecimiento de plántulas (e.g. Lloret et al. 2009; Pérez-Ramos et al. 2013; Liu et al. 2018). Todo ello sugiere la necesidad de emplear técnicas de regeneración asistida que promuevan el reclutamiento efectivo de plántulas en condiciones de mayor aridez con el fin de fomentar la persistencia de las poblaciones de *Quercus* en los futuros escenarios de cambio climático.

Regeneración asistida: búsqueda de técnicas alternativas

Los problemas de regeneración natural que sufren las especies de *Quercus* en las dehesas han propiciado numerosos programas de reforestación. Estas prácticas de regeneración asistida son cruciales para asegurar la persistencia de este tipo de ecosistemas manejados por el ser humano pues, en ausencia de ellas, se estima que las dehesas terminarían desapareciendo en las próximas décadas (Roselló et al. 1997; Pulido et al. 2013). Gran parte de estas técnicas de regeneración asistida se han sustentado tradicionalmente en la idea clásica de concebir la naturaleza como un ente estático que se encuentra en equilibrio con su medio ("equilibrio de la naturaleza"; Zavala et al. 2008). Sin embargo, los ecosistemas son dinámicos y varían en el tiempo según las fluctuaciones ambientales y los mecanismos de respuesta de sus componentes (Levin 1981; Zamora 2002).

El contexto actual de cambio climático incita la necesidad de elaborar programas de reforestación o regeneración asistida que incluyan mejoras en los procesos y técnicas de plantación acordes con las condiciones cambiantes de nuestro planeta. La búsqueda de alternativas de reforestación que garanticen la supervivencia de los plantones con bajo costo y bajo impacto ambiental es por tanto necesaria para una adecuada gestión de los ecosistemas forestales (Rey Benayas 1998; Zamora 2002; Gómez-Aparicio et al. 2004). En estas condiciones, se están implementando diferentes técnicas y métodos de uso y aceptación crecientes en las labores de reforestación (Bainbridge 2007). Por un lado, está cada vez más extendido el uso de diferentes especies de matorral como plantas nodrizas que generalmente producen una mayor supervivencia de plántulas y brinzales (Gómez-Aparicio 2009; Costa et al. 2017). La disminución de la mortalidad de plántulas bajo la cubierta de una determinada especie de matorral parece estar relacionada con el incremento de la humedad del suelo, la disminución de la elevada radiación y la menor temperatura de aire y suelo, que en definitiva mejoran el estado hídrico de la planta (Maestre et al. 2001; Castro et al. 2006; Gómez-Aparicio et al. 2004; Leiva et al. 2013). Por otro lado, algunos ensayos llevados a cabo en condiciones de campo han demostrado que el uso de protectores contra la herbivoría mejora la supervivencia de plántulas en ecosistemas forestales mediterráneos (Long et al. 1996; Navarro-Cerrillo et al. 2005; Valladares

et al. 2005). Finalmente, se están desarrollando otras técnicas que aportan agua en el momento de la plantación y, especialmente, durante el estío (e.g. técnicas de micro-riegos de arraigo, socorro o mantenimiento), que podrían resultar de gran utilidad para evitar marras ocasionadas por el estrés hídrico, una de las causas principales de los fracasos en las repoblaciones forestales de este tipo de ecosistemas (Martínez de Azagra y del Río 2012). Sin embargo, existe muy poca información sobre el grado de eficiencia de las diferentes técnicas para promover el éxito de las reforestaciones en ecosistemas de dehesa.

Objetivos

El objetivo general del presente estudio consiste en identificar los principales factores limitantes de la regeneración asistida de encinas y alcornoques en ecosistemas de dehesa, así como las principales técnicas empleadas en agricultura ecológica para mejorar las tasas de supervivencia de los plantones introducidos en el campo. Para ello, en primer lugar se hizo una revisión bibliográfica de los factores que limitan la regeneración asistida en ecosistemas de dehesa. En segundo lugar, se realizó una encuesta a investigadores expertos en el tema de estudio con el fin de contrastar las conclusiones principales del análisis bibliográfico, definir el grado de recomendación de las principales técnicas de regeneración asistida e identificar aquellas que requieren un mayor esfuerzo de investigación.

Material y Métodos

Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica se realizó utilizando la base de datos de *Web of Science* (WOS), introduciendo como términos de búsqueda las siguientes palabras: "regeneration o recruitment", "*Quercus ilex* o "*Quercus suber*", y "dehesa o montado o savannah-like ecosystem". Dicha búsqueda proporcionó un total de 82 artículos. Se descartaron aquellos estudios observacionales que no emplearon ningún método experimental de siembra de semillas y/o plantones (i.e. no relacionados directamente con técnicas de regeneración asistida). Esta búsqueda se complementó con información procedente de repositorios nacionales, como artículos incluidos en la revista científica "*Ecosistemas*" o trabajos presentados en las reuniones periódicas que celebran la *Asociación Española de Ecología Terrestre* y la *Sociedad Española de Ciencias Forestales* (Grupo de Trabajo de Ecología, Ecofisiología y Suelos Forestales). En total, se seleccionaron y revisaron 108 artículos científicos relacionados con la regeneración asistida en las dehesas. La información contenida en estos artículos se utilizó para detectar los principales factores que limitan esta regeneración e identificar las distintas técnicas de reforestación empleadas que, desde una perspectiva agroecológica, parecen ser eficientes para contrarrestar dichos factores limitantes. En esta selección se descartaron las técnicas que no son consideradas ecológicas, como aquellas que emplean herbicidas químicos, fertilizantes de síntesis o movimientos de tierra con inversión del perfil edáfico, como terrazas abancaladas. El grado de eficiencia de las principales técnicas de reforestación (alta, media o baja) se atribuyó en función de su recomendación en los diferentes estudios analizados.

Encuesta a expertos

Mediante un muestro no probabilístico, se seleccionó un plantel de 30 investigadores de reconocida relevancia en el campo de la regeneración de *Quercus* en bosques y dehesas (incluyendo personas de ambos sexos, con diferentes edades y distintas posiciones en el mundo científico-académico), a los que se les pidió que completasen un cuestionario que sirviese para contrastar y complementar los resultados del análisis de la revisión bibliográfica. El 100% de las personas contactadas respondieron a nuestra encuesta. El cuestionario fue de respuesta cerrada (más detalles en *Apéndice*) e incluyó algunos de los resultados más representativos de la revisión bibliográfica. En el presente manuscrito tan solo se muestran

los resultados de las preguntas relacionadas con la regeneración asistida en ecosistemas de dehesas. En primer lugar, se les pidió que ordenasen los factores que considerasen más limitantes para la regeneración asistida de especies de *Quercus* en ecosistemas de dehesas. En segundo lugar, se les pidió que priorizaran una serie de técnicas de agricultura ecológica en función del esfuerzo de investigación que debería aplicarse en cada una de ellas para poder avanzar en el desarrollo de técnicas eficientes que promuevan la regeneración del arbolado en dehesas mediterráneas.

Resultados y Discusión

Factores limitantes de la regeneración asistida de *Quercus* en dehesas

Los resultados de nuestra revisión bibliográfica indican que los principales factores que limitan la regeneración asistida de especies de *Quercus* en las dehesas son básicamente cuatro. En primer lugar, el 64% de los estudios revisados destacaron el estrés hídrico como uno de los principales causantes de las marras en las reforestaciones, quedando relegado a un segundo lugar la herbivoría de plántulas y brinzales (Fig. 1). En tercera y cuarta posición fueron identificadas las desfavorables condiciones del suelo (ej. elevada compactación o baja fertilidad) y la depredación de semillas como factores limitantes de la regeneración asistida en especies de *Quercus*. Finalmente, merece la pena destacar la competencia con herbáceas anuales que sufren los plantones recién trasplantados, pudiendo llegar a poner en riesgo tanto su crecimiento como su supervivencia (Pulido et al. 2013 y referencias citadas allí). Este factor apenas fue mencionado en los estudios experimentales en dehesas ibéricas, pero sí fue destacado como limitante en algunas dehesas californianas.

Estos resultados del análisis de revisión bibliográfica fueron corroborados por los expertos; así, el 59.3% de los encuestados consideraron el estrés hídrico como primer factor limitante y el 26.6% como segundo factor más determinante (Fig. 2). La herbivoría fue señalada como primer factor limitante por un 20% de los encuestados y como segundo factor por casi un 40% de los mismos (Fig. 2). Las condiciones edáficas y la depredación de semillas fueron seleccionadas por la mayor parte de los encuestados en tercera o cuarta posición (Fig. 2). Estos resultados conectan con la información aportada por estudios previos sobre la regeneración natural en especies arbóreas mediterráneas, que sitúan a la supervivencia de

semillas y plántulas como los principales “cuellos de botella” para el reclutamiento de nuevos individuos (e.g. Pulido y Díaz 2005; Pausas et al. 2009; Pulido et al. 2010; Pérez-Ramos et al. 2012; Giménez-Benavides et al. 2018). Concretamente, el establecimiento exitoso de plántulas de *Quercus* depende fuertemente del contenido hídrico del suelo. Por un lado, las semillas de *Quercus* requieren un nivel mínimo de humedad en el suelo para mantener su viabilidad y poder emitir la radícula (Borchert et al. 1989; Finch-Savage 1992). Por otro lado, una vez superadas las fases de germinación y emergencia, las plántulas de *Quercus* son particularmente vulnerables a la sequía estival en comparación con los adultos, probablemente como consecuencia del menor desarrollo de sus sistemas radiculares, que les dificulta el acceso al agua disponible en capas más profundas del suelo (Nicotra et al. 2002; Paz 2003). La alta vulnerabilidad de estas especies al estrés hídrico hace suponer que su capacidad de reclutamiento podría verse aún más mermada en escenarios futuros de mayor aridez, tal y como pronostican algunos estudios experimentales previos en ecosistemas de bosque mediterráneo (Lloret et al. 2009; Matías et al. 2011; Pérez-Ramos

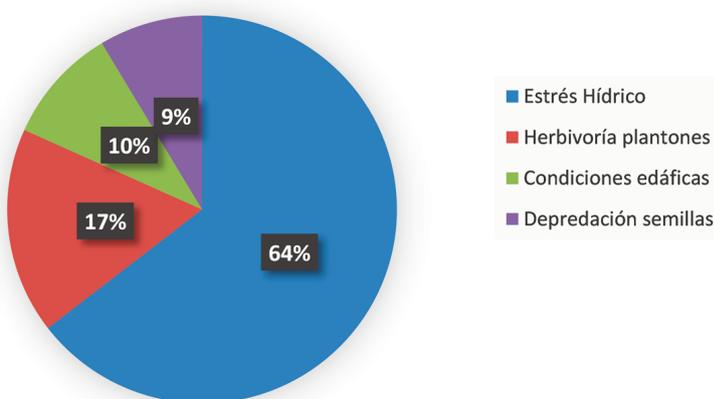


Figura 1. Factores que limitan la regeneración asistida de especies de *Quercus* en dehesas según los resultados de la revisión de 108 manuscritos.

Figure 1. Factors limiting the process of assisted regeneration of *Quercus* species in savanna-like ecosystems according to the results of the review of 108 manuscripts.

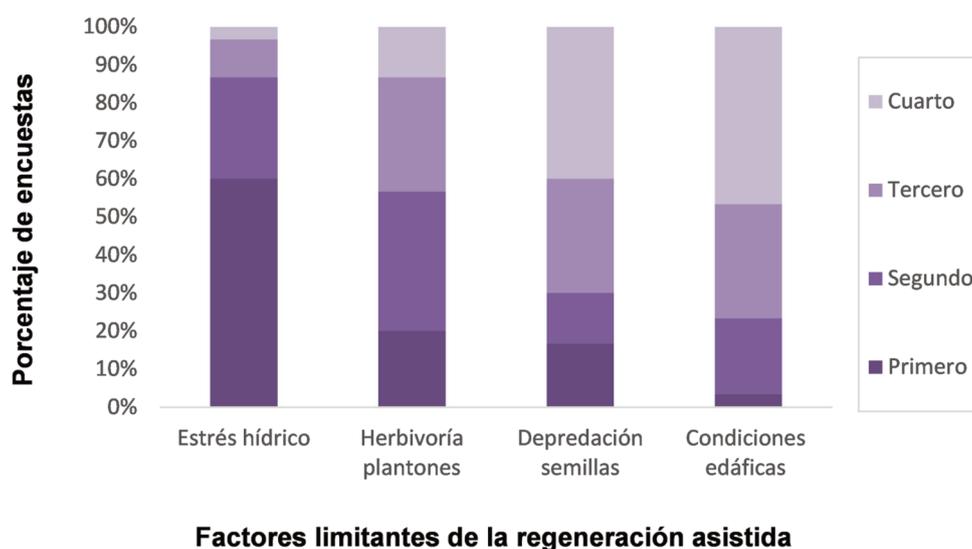


Figura 2. Resultados de las encuestas a expertos sobre la importancia relativa de los factores más limitantes de la regeneración asistida de *Quercus illex* y/o *Quercus suber* en dehesas.

Figure 2. Results from the experts' surveys on the relative importance of the most limiting factors for assisted regeneration of *Quercus illex* y/o *Quercus suber* in savanna-like ecosystems.

et al. 2010; 2013; Liu et al. 2018). De manera adicional, las nuevas políticas de gestión forestal de las dehesas han conllevado en muchos casos un problema de superpoblación de herbívoros (Plieñinger y Wilbrand 2001; San Miguel 2005; Eichhorn et al. 2006; Pulido et al. 2013), que podría poner en riesgo no sólo la regeneración natural del arbolado sino también las actuaciones de regeneración asistida empleadas para promover la persistencia de sus poblaciones.

Técnicas agroecológicas de reforestación en dehesas

La revisión bibliográfica nos permitió identificar las principales técnicas de reforestación usadas en ecosistemas de dehesa desde una perspectiva agroecológica, descartándose aquellas que incorporaban insumos externos no compatibles con la protección y el respeto al medio ambiente, como el uso de herbicidas químicos o fertilizantes de síntesis o el deterioro que supone la creación artificial de terrazas abancaladas. Las técnicas más frecuentemente utilizadas han sido recogidas en la figura 3 e incluyen: (i) el uso de tubos o mallas para reducir la depredación/herbivoría y el exceso de irradiación; (ii) la aplicación de diferentes sistemas de riego; (iii) el empleo de arbustos facilitadores, que reducen la herbivoría y aportan unas condiciones propicias para el establecimiento exitoso de plántulas; (iv) el uso de cubiertas para evitar la evapotranspiración (e.g. "mulching" o acolchado); (v) la construcción de microcuencas para aumentar la superficie de recogida de agua de lluvia; (vi) el empleo de cuidados culturales, como la escarda, bina o roza del suelo para tapar las grietas que favorecen la evaporación; y (vii) el uso de leña para proteger a la semilla o plántula de la depredación/herbivoría y reducir el exceso de irradiación.

La información de esta revisión bibliográfica sugiere que el uso de técnicas habitualmente empleadas en agricultura ecológica es eficiente y potencialmente recomendable para paliar los principales factores que están limitando actualmente la regeneración asistida de las dehesas: el estrés hídrico y la herbivoría. Así, la mayor parte de los estudios analizados señalaron las diferentes técnicas empleadas como favorecedoras del reclutamiento de la especie, es decir,

con un grado de eficiencia alto o medio (Fig. 4). De manera excepcional, algunos de los trabajos analizados indicaron que el empleo de microcuencas, cuidados culturales o protectores de leña no eran particularmente útiles para evitar marras al comparar su eficiencia con el de otras técnicas de reforestación más convencionales.

Los resultados del cuestionario sobre técnicas recomendables para la reforestación de especies de *Quercus* confirmaron las conclusiones extraídas de la revisión bibliográfica: el nivel de recomendación de la mayor parte de ellas fue alto, recogándose una alta diversidad de opiniones sobre las técnicas que precisaban de mayor esfuerzo de investigación. Por un lado, una buena parte de los encuestados resaltó el uso de matorrales nodrizas o facilitadores entre las tres primeras técnicas más recomendables para continuar explorando. Aunque hay estudios previos que recomiendan encarecidamente el uso de arbustos facilitadores para propiciar un reclutamiento efectivo de las especies arbóreas de dehesa (Ramírez y Díaz 2008; Costa et al. 2017), algunos expertos consideran que no existe información suficiente sobre el papel del matorral en la regeneración de otras especies de árbol diferentes al alcornoque o la encina, así como sobre el grado de facilitación que podrían aportar diferentes especies de matorral. Por otro lado, muchos encuestados recomendaron profundizar en la investigación de otras técnicas relacionadas con el empleo de tubos protectores, cubiertas de tipo "mulching" o la aplicación de diferentes tipos de riego. Estos métodos alternativos reducen las pérdidas de agua del suelo, ayudan a mejorar el estado hídrico de la planta y parecen prevenir la competencia del plantón con la vegetación herbácea vecina (Glaub y Gouleke 1989; Pemán y Navarro-Cerrillo 1998; Serrada 2000; Navarro et al. 2004). Sin embargo, se requieren nuevos estudios que ayuden a precisar si la relación coste-beneficio de las diferentes técnicas resulta beneficiosa para el gestor, a la vez que permitan esclarecer el impacto ecológico ocasionado por cada una de ellas sobre el ecosistema. Algunos autores precisaron también que sería muy útil determinar el grado de eficiencia de las diferentes técnicas en condiciones meteorológicas adversas (e.g. años particularmente secos y/o cálidos) con el fin de identificar las más recomendables para los futuros escenarios de cambio climático.

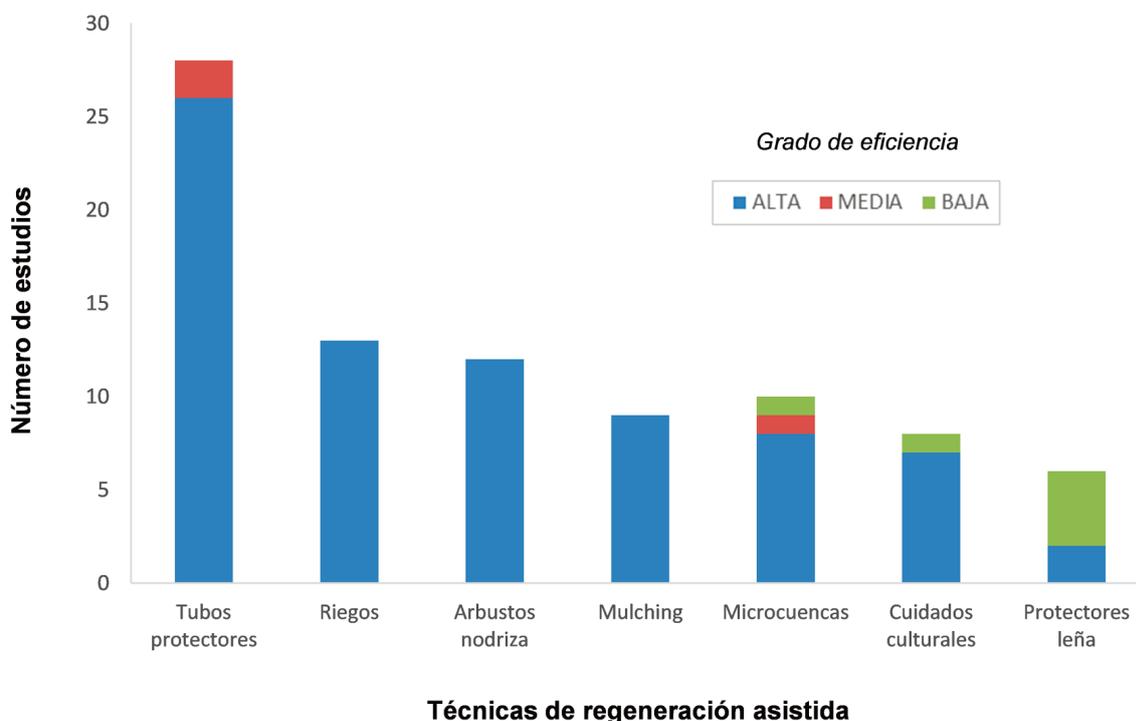


Figura 3. Número de referencias extraídas de la revisión bibliográfica usando 108 trabajos experimentales sobre diferentes técnicas agroecológicas de regeneración asistida de especies de *Quercus*. Se muestra también el grado de eficiencia de cada técnica (alta, media o baja) según los autores.

Figure 3. Number of references extracted from the bibliographic review using 108 experimental studies on different agroecological techniques of assisted regeneration of oak species. The level of efficiency of each of them (high, intermediate or low) has been also indicated according to the authors' recommendations.

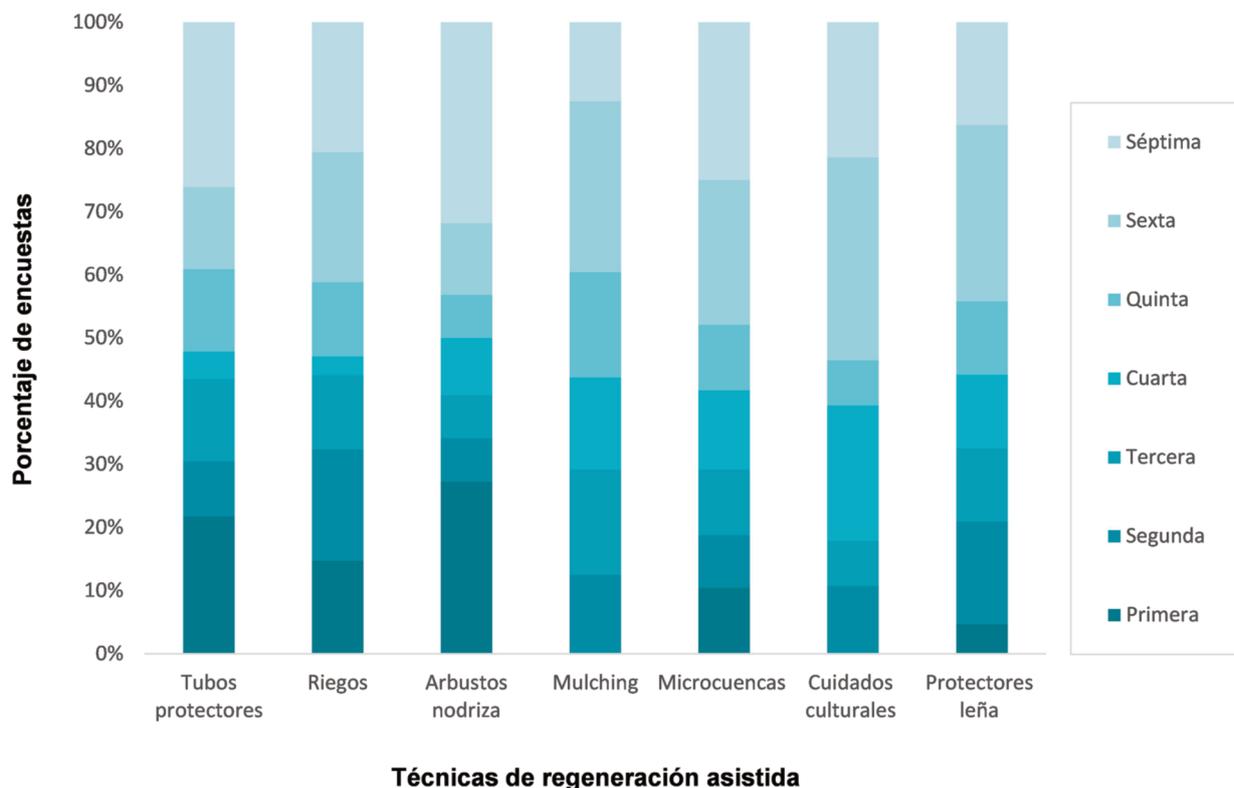


Figura 4. Resultados del análisis de expertos donde se les pidió que ordenasen las principales técnicas agroecológicas de regeneración asistida en ecosistemas de dehesas según su prioridad para seguir investigando.

Figure 4. Results from the experts' surveys analysis where they ordered the main agroecological techniques of assisted regeneration in savanna-like ecosystems according to their priorities of research.

Aunque muchas de estas técnicas están siendo incorporadas recientemente en los planes de reforestación de las dehesas, es muy común encontrar repoblaciones con alta mortalidad de plántulas a pesar de haber empleado protectores para reducir la herbivoría, o microcuencas para aumentar la recolección de agua de lluvia. Esto puede ser debido a que el reclutamiento de las especies de *Quercus* frecuentemente es condicionado por múltiples factores que actúan al mismo tiempo (e.g. Pulido y Díaz 2005; Pérez-Ramos et al. 2012; Díaz 2014; Giménez-Benavides et al. 2018). Así, por ejemplo, es poco útil el empleo de protectores para la herbivoría si el suelo donde se asentará la plántula se encuentra muy compactado. Igualmente, el empleo de microcuencas o la implantación de sistemas de riego serán poco prácticos si los plántulas no se encuentran protegidos del ataque de herbívoros. Es importante señalar que una determinada técnica puede ser eficiente en una determinada zona pero no en otra, dado el alto carácter contexto-dependiente del proceso de regeneración. Así, el éxito de una determinada técnica de reforestación estará condicionado por multitud de factores, como la abundancia y el tipo de depredadores, las condiciones edáficas y climáticas, la existencia o no de vegetación arbustiva, o las distintas orientaciones de las laderas. Todo ello conlleva la necesidad de investigar las distintas técnicas en una variedad de sitios con condiciones contrastadas, con el fin de establecer unas recomendaciones adaptadas a cada contexto a la hora de abordar un proyecto de regeneración asistida. Más aún, sería recomendable afrontar de manera simultánea diferentes estudios experimentales de adaptación de otras técnicas de agricultura ecológica no recogidas en este estudio, como la asociación de cultivos, el uso de plantas favorecedoras de fauna auxiliar, los repelentes que actúan como barreras de depredadores potenciales, o la siembra de especies que reduzcan la compactación del terreno.

Además de la importancia de seguir avanzando en el desarrollo de técnicas eficientes de regeneración asistida, conviene reseñar la necesidad de compaginar estas medidas con otras técnicas de regeneración natural basadas en la recuperación de los procesos

que ocasionan los cuellos de botella en el reclutamiento de las especies arbóreas. Por un lado, es comúnmente aceptada la necesidad de implantar periodos de exclusión de herbívoros de acuerdo con un ciclo rotacional para asegurar la persistencia de las dehesas (Plieninger et al. 2003; Ramírez y Díaz 2008; Moreno y Pulido 2009). Por otro lado, incrementar la abundancia de matorrales ha sido propuesta también como una opción efectiva y económica que potencialmente promueve la regeneración natural del arbolado al favorecer la dispersión efectiva de semillas por roedores (principales dispersores de bellotas en dehesas; Ramírez y Díaz 2008; Pulido et al. 2010). Según un estudio reciente (Morán-López et al. 2016), se estima una superficie mínima de matorral del 65% para poder alcanzar altos niveles de dispersión de semillas que aseguren el reclutamiento efectivo de las Quercíneas en ecosistemas de dehesas. Sin embargo, este nivel mínimo de matorralización podría ser incompatible con la explotación de las dehesas dado que disminuiría dramáticamente la productividad del pasto (Moreno y Pulido 2009). Una posible solución para paliar este problema podría consistir en implantar un sistema de rotación compuesto por áreas con baja o nula intensidad de ganado y alto grado de matorralización (que promuevan la regeneración natural del arbolado), y áreas con bajo dosel arbustivo pero mayor carga ganadera (con nulo reclutamiento del arbolado pero alta productividad; Díaz 2014).

En resumen, los resultados de este trabajo resaltan la necesidad de seguir investigando la aplicación de distintas técnicas de agricultura ecológica que ayuden a paliar los principales factores limitantes en la regeneración asistida de especies de *Quercus* y aseguren la persistencia en el tiempo de las dehesas y otros ecosistemas forestales mediterráneos ante futuros escenarios de cambio climático. Ahora bien, es necesario abordar este reto de manera integradora siguiendo una perspectiva agroecológica, cuya base consiste en no centrar la atención en un único componente del ecosistema sino en las interrelaciones que suceden entre los distintos componentes y la dinámica compleja de los procesos ecológicos existentes (Vandermeer 1989).

Agradecimientos

Agradecemos encarecidamente a los 30 científicos entrevistados por su estimada y atenta colaboración, así como por sus ánimos y valiosos consejos. Igualmente queremos agradecer a los doctores Juan Manuel Mancilla Leytón y Pedro González Redondo, del Máster de Agricultura y Ganadería Ecológicas de la Universidad Pablo de Olavide (<https://www.upo.es/postgrado/Master-Oficial-Agricultura-y-Ganaderia-Ecológicas>), por su permanente buena disposición para prestarnos ayuda durante la puesta en marcha del presente estudio.

Referencias

- Bainbridge, D.A. 2007. A guide for desert and dryland restoration. En: *New hope for arid lands*. Island Press. Washington.
- Borchert, M.I., Davis, F.W., Michaelsen, J., Oyler, L.D. 1989. Interactions of factors affecting seedling recruitment of blue oak (*Quercus douglasii*) in California. *Ecology* 70:389-404.
- Bugalho, M.N., Caldeira, M.C., Caldeira, Pereira, J.S., Pausas, J.G. 2011. Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(5):278.
- Campos, P., Huntsinger, L., Oviedo, J.L., Díaz, M., Starrs, P., Standiford, R.B., Montero, G. (eds.) 2013. *Mediterranean Oak Woodland Working Landscapes: Dehesas of Spain and Ranchlands of California*. Springer, New York. Estados Unidos.
- Castro, J., Zamora, R. y Hódar, J.A. 2006. Restoring *Quercus pyrenaica* forests using pioneer shrubs as nurse plants. *Applied Vegetation Science* 9: 137-142.
- Costa, A., Villa, S., Alonso, P., García-Rodríguez, J.A., Martín, F.J., Martínez-Ruiz, C., Fernández-Santos, B. 2017. Can native shrubs facilitate the early establishment of contrasted co-occurring oaks in Mediterranean grazed areas? *Journal of Vegetation Science* 28 (5): 1047-1056
- Díaz, M. 2014. Distribución del arbolado y persistencia a largo plazo de las dehesas: patrones y procesos. *Ecosistemas* 23(2): 5-12. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.02
- Eichhorn, M.P., Paris, P., Herzog, P., Incoll, L.D., Liagre, F., Mantzanas, K., et al. 2006. Silvoarable Systems in Europe – Past, Present and Future Prospects. *Agroforestry Systems* 67 (1): 29–50.
- Finch-Savage, W.E. 1992. Embryo water status and survival in the recalcitrant species *Quercus robur* L: Evidence for a critical moisture content. *Journal of Experimental Botany* 43, 663-669.
- Giménez-Benavides, L., Escudero, A., García-Camacho, R., García-Fernández, A., Iriondo, J.M., Lara-Romero, C., Morente-López, J. 2018. How does climate change affect regeneration of Mediterranean high-mountain plants? An integration and synthesis of current knowledge. *Plant Biology* 20: 50-62.
- Glaud, J.C., Gouleke G.G. 1989. Municipal organic wastes and compost for arid areas. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 3: 171-184.
- Gómez-Aparicio, L., Pérez-Ramos, I.M., Mendoza, I., Matias, L., Quero, J.L., Castro, J., Zamora, R., Marañón, T. 2008. Oak seedling survival and growth along resource gradients in Mediterranean forests: implications for regeneration in current and future environmental scenarios. *Oikos* 117: 1683-1699.
- Gómez-Aparicio, L. 2009. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life-forms and ecosystems. *Journal of Ecology* 97: 1202-1214.
- Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., Gómez, J.M., Hódar, J.A., Castro, J., Baraza, E. 2004. Applying plant positive interactions to reforestation in Mediterranean mountains: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications* 14: 1128-1138.
- IPCC 2013. *Climate change: The physical science basis*. IPCC working group I contribution to AR5. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Leiva, M.J., Mancilla-Leytón, J.M., Martín-Vicente, A. 2013. Methods to improve the recruitment of holm-oak seedlings in grazed Mediterranean savanna-like ecosystems (dehesas). *Annals of Forest Science* 70:11-20.
- Levin, S.A. 1981. Mechanisms for the generation and maintenance of diversity in ecological communities. En: Hiorns R.W., Cooke, D. (eds.). *The mathematical theory of the dynamics of biological populations II*, pp. 173-194. Academic Press, Londres, Reino Unido.
- Liu, D., Ogaya, R., Barbata, A., Yang, X., Peñuelas, J. 2018. Long-term experimental drought combined with natural extremes accelerate vegetation shift in a Mediterranean holm oak forest. *Environmental and Experimental Botany* 151: 1–11.
- Long, S.P., Osborne, C.P., Humphries, S.W. 1996. Photosynthesis, rising atmospheric carbon dioxide concentration and climate change. En: Breymer, A.I., Hall, D.O., Melillo, J.M., Agren, G.I. (eds.) *Global Change: Effects on Coniferous Forests and Grasslands* (SCOPE Report), pp 121-159. John Wiley and Sons. Nueva York, NY, Estados Unidos.
- Lloret, F., Peñuelas, J., Prieto, P., Llorens, L., Estiarte, M. 2009. Plant community changes induced by experimental climate change: seedling and adult species composition. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 11:53–63.
- Maestre, F., Bautista, S., Cortina, J., Bellot, J. 2001. Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications* 11:1641-1655.
- Martínez de Azagra, A., del Río, J. 2012. Los riegos de apoyo y de socorro en repoblaciones forestales. *Foresta* 53:32-44.
- Matías, L., Zamora, R., Castro, J. 2011. Repercussions of simulated climate change on the diversity of woody-recruit bank in a Mediterranean-type ecosystem. *Ecosystems* 14:672–682.
- Morán-López, T., Wiegand, T., Morales, J. M., Valladares, F., Díaz, M. 2016. Predicting forest management effects on oak-rodent mutualisms. *Oikos* 125 (10): 1445-1457.
- Moreno, G., Pulido, F.J. 2009. The functioning, management and persistence of dehesas. En: Rigueiro, A., Mosquera, M.R., McAdams, J. (eds.). *Agroforestry in Europe: current status and future prospects*, pp 127–160. Springer Science, Berlín. Alemania.
- Navarro-Cerrillo, R. M., Fraguero, B., Ceacero, C., Del Campo, A., De Prado, R. 2005. Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp. using different weed control strategies in Southern Spain. *Ecological Engineering* 25: 332–342.
- Navarro, R., Fraguero, B., De Prado, R., Díaz, J.L., Guzmán, R. 2004. Técnicas de conservación del suelo en forestaciones de terrenos agrícolas. En: Fernández, P., González, E.J., Martínez, A., Navarro, R. (eds.), *Mantenimiento y conservación del suelo en forestaciones agrarias*, pp. 41-73. Asociación Española de Agricultura de Conservación/Suelos Vivos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
- Nicotra, A.B.N., Babicka, N., Westoby, M. 2002. Seedling root anatomy and morphology: An examination of ecological differentiation with rainfall using phylogenetically independent contrasts. *Oecologia* 130:136-145.
- Pausas, J.G., Marañón, T., Caldeira, M., Pons, J. 2009. Natural regeneration. Cork Oak Woodlands on the Edge. En: Aronson, J., Pereira, J.S., Pausas, J. (eds.) *Ecology, Adaptive Management and Restoration*, pp. 115–124. Island Press, Washington, DC, Estados Unidos.
- Papanastis, V. 2004. Vegetation degradation and land use changes in agrosilvopastoral systems. En: Schnabel, S., Ferreira, A. (eds.) *Sustainability of agrosilvopastoral systems*, pp. 1–12. Catena Verlag, Reiskirchen, Germany.
- Paz, H. 2003. Root/shoot allocation and root architecture in seedlings: variation among forest sites, microhabitats, and ecological groups. *Biotropica* 35:318-332.
- Pemán J., Navarro-Cerrillo R.M. 1998. *Repoblaciones forestales*. Universidad de Lleida. Lleida, España. 400 pp.
- Pérez-Ramos, I.M. 2014. El milagro de regenerar en especies mediterráneas de *Quercus*. ¿Cómo serán los bosques del futuro? *Ecosistemas* 23(2): 13-17. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-2.03.
- Pérez-Ramos, I. M., Ourcival, J. M., Limousin, J. M., Rambal, S. 2010. Mast seeding under increasing drought: results from a long-term data set and from a rainfall exclusion experiment. *Ecology* 91: 3057-3068.
- Pérez-Ramos, I.M., Urbieta, I.R., Zavala, M.A., Marañón, T. 2012. Ontogenetic demographic conflicts and rank reversals in two Mediterranean oak species: implications for coexistence. *Journal of Ecology* 100:267-277.
- Pérez-Ramos, I.M., Rodríguez-Calcerrada, J., Ourcival, J.M., Rambal, S. 2013. *Quercus ilex* recruitment in a drier world: A multi-stage demographic approach. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 15:106-117.
- Plieninger, T. y Wilbrand, C. 2001. Land use, biodiversity conservation, and rural development in the dehesas of Cuatro Lugares, Spain. *Agroforestry Systems* 51: 23-34.

- Plieninger, T., Pulido, F., Konold, W. 2003. Effects of land use history on size structure of holm oak stands in Spanish dehesas: implications for conservation and restoration. *Environmental Conservation* 30: 61–70.
- Pulido, F.J., Díaz, M. 2005. Regeneration of a Mediterranean oak: a whole cycle approach. *Ecoscience* 12:92–102.
- Pulido, F., Picardo, A. (Coords.) 2010. *Libro Verde de la Dehesa. Documento para el debate hacia una estrategia Ibérica de gestión*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León. Valladolid, España.
- Pulido, F., García, E., Obrador, J.J., Moreno, G. 2010. Multiple pathways for tree regeneration in anthropogenic 696 savannas: incorporating biotic and abiotic drivers into management schemes. *Journal of Applied Ecology* 47: 1272-1281.
- Pulido, F., McCreary, D., Cañellas, I., McClaran, M., Plieninger, T. 2013. Oak regeneration: ecological dynamics and restoration techniques. En: Campos et al. (eds) *Mediterranean Oak Woodland Working Landscapes*, pp. 123-144. Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- Ramírez, J.A., Díaz, M. 2008. The role of temporal shrub encroachment for the maintenance of Spanish holm oak *Quercus ilex* dehesas. *Forest Ecology and Management* 255:1976-1983.
- Rey-Benayas, J.M. 1998. Growth and survival in *Quercus ilex* L. seedlings after irrigation y artificial shading on Mediterranean set-aside agricultural lands. *Annales des Sciences Forestières* 55:801-807.
- Roselló, E.R., Castejón Ayuso, M.A., Sánchez Serrano, F., Ferreiro, G.T. 1997. *Clasificación Biogeoclimática de España Peninsular y Balear. Atlas Clateres*. INIA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España.
- San Miguel, A. 2005. La vegetación arbustiva y subarbustiva. En: González, L.M., San Miguel, A. (Coords.), *Manual de buenas prácticas de gestión en fincas de monte mediterráneo de la Red Natura 2000*. pp. 145–156. Organismo autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- Serrada, R. 2000. *Apuntes de repoblaciones forestales*. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, España.
- Valladares, F., Peñuelas, J., Calabuig, E.L. 2005. Impactos sobre los ecosistemas terrestres. En: Moreno, J.M. (eds.), *Evaluación preliminar de los impactos del cambio climático en España*, pp 65 – 112. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- Vandermeer, J. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.
- Zamora, R. 2002. Los espacios protegidos necesitan una gestión activa. *Quercus* 191: 64-6.
- Zavala, M.A., Zamora, R., Pulido, F., Blanco, J. A., Bosco, J., Marañón, T., Castillo, F. J., Valladares, F. 2008. Nuevas perspectivas en la conservación, restauración y gestión sostenible del bosque mediterráneo. En: Valladares, F. (eds), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (2ª edición), pp. 511-532. Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF, S.A., Madrid, España.

Apéndice / Appendix

Cuestionario completo dirigido a expertos en la temática de estudio (regeneración natural y/o asistida en sistemas de dehesas), que fue llevado a cabo para contrastar las conclusiones principales alcanzadas en nuestro estudio bibliográfico, definir el grado de recomendación de las principales técnicas de regeneración asistida, e identificar aquellas que requieren un mayor esfuerzo de investigación.

1. Ordene (del 1 al 4) por orden de importancia, el proceso demográfico que considere más limitante en la regeneración NATURAL de *Quercus ilex* y *Quercus suber*.
 - Producción de semillas
 - Depredación/dispersión de semillas
 - Emergencia de plántulas
 - Supervivencia de plántulas
2. Ordene por orden de importancia, el proceso demográfico relacionado con la regeneración NATURAL de *Quercus ilex* y *Quercus suber* sobre el que considere más necesario continuar la investigación.
 - Producción de semillas
 - Depredación/dispersión
 - Emergencia de plántulas
 - Supervivencia de plántulas
3. Ordene por orden de importancia, los factores que considere más limitantes en la regeneración NATURAL de *Quercus ilex* y *Quercus suber*.
 - Depredación de semillas
 - Herbivoría de plántulas y brinzales
 - Condiciones edáficas (ej. compactación, baja fertilidad)
 - Estrés hídrico
4. Ordene (del 1 al 4) por orden de importancia, el proceso demográfico que considere más limitante en la regeneración ASISTIDA de *Quercus ilex* y *Quercus suber*.
 - Supervivencia de semillas
 - Emergencia de plántulas
 - Supervivencia de plántulas
 - Supervivencia de brinzales
5. Ordene (del 1 al 4) por orden de importancia, el proceso demográfico relacionado con la regeneración ASISTIDA de *Quercus ilex* y *Quercus suber* sobre el que considere más necesario continuar la investigación.
 - Supervivencia de semillas
 - Emergencia de plántulas
 - Supervivencia de plántulas
 - Supervivencia de brinzales
6. Ordene por orden de importancia, los factores que considere más limitantes en la regeneración ASISTIDA de *Quercus ilex* y *Quercus suber*.
 - Depredación de semillas
 - Herbivoría de plántulas y brinzales
 - Condiciones edáficas (ej. compactación, baja fertilidad)
 - Estrés hídrico
7. Ordene por orden de importancia, las técnicas agroecológicas de regeneración asistida según su prioridad para seguir investigando
 - Microcuencas (aumento de la superficie de recogida de agua de lluvia)
 - Mulching o acolchado (cubiertas naturales / artificiales para evitar la evaporación)
 - Protectores mediante tubos o mallas (para evitar la depredación / herbivoría y reducir la irradiación)
 - Protección mediante leña (para evitar la depredación / herbivoría y reducir la irradiación)
 - Cuidados culturales como la escarda o la bina (supresión de hierbas competidoras y roza del suelo para tapar las grietas que favorecen la evaporación)
 - Arbustos facilitadores (reducen la herbivoría y la irradiación)
 - Riego (micro-riegos, sistemas de riego, volumen y número óptimo de riegos)