



**LOS ROBLEDALES DE SIERRA NEVADA:
VALORACIÓN DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS
Y RECOMENDACIONES DE GESTIÓN**





Beneficiario Coordinador



Beneficiarios asociados



Coofinanciador



Los robledales de Sierra Nevada: Valoración de servicios ecosistémicos y recomendaciones de gestión.

Proyecto LIFE ADAPTEMED (LIFE14 CCA/ES000612), acción E1.

Autores: Antonio Jesús Pérez-Luque, José Miguel Barea-Azcón, Rut Aspizua, Francisco Javier Cano-Manuel, Regino Zamora.

Como citar:

Pérez-Luque, A.J.; Barea-Azcón, J.M.; Aspizua, R.; Cano-Manuel, F.J.; Zamora, R. (2021). Los robledales de Sierra Nevada: Valoración de servicios ecosistémicos y recomendaciones de gestión. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía. 112 pp.

Créditos fotográficos: R. Aspizua: 88b; J.M. Barea-Azcón: 11, 19, 23, 25, 30, 62, 69, 75, 98; M. Brzezinski: 43 (*Tortrix viridiana*-imago; <https://www.inaturalist.org/photos/78909042>); Esterba: 43 (*Lymantria dispar*-imago; <https://www.inaturalist.org/photos/82398677>); B. Fernández de Simón: 67; J.R. Iglesias: 18, 21; J.M. Muñoz: 24a, 24b, 24e, 43 (*Tortrix viridiana*-oruga, *Malacosoma neustria*, *Euproctis chrysorrhoea*), 51 (arriba, centro); J. L. Nieves Aldrey: 43 (*Andricus foecundatrix*, *Neuroterus quercusbaccarum*, *Andricus solitarius*, *Neuroterus numismalis*, *Biorhiza pallida*); A.J. Pérez-Luque: 12, 14, 24c, 24d, 26, 32, 36, 43 (*Andricus coriaceus*), 44, 51 (abajo izquierda, abajo derecha), 54, 65, 72, 76, 79, 80, 88a, 88c, 90; A. Ramos: 70; J. Rodríguez Infantes: 35, 74. R. Salomón y M. Iglesias: 63.

D.L.: SE 602-2021

ISBN: 978-84-8474-305-7

Diseño gráfico y maquetación: Creados Visual S.L. (Granada)

Impresión: Solprint S. L. (Málaga)

LOS ROBLEDALES DE SIERRA NEVADA:
VALORACIÓN DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS
Y RECOMENDACIONES DE GESTIÓN

AGRADECIMIENTOS

El presente manual constituye una exhaustiva compilación del conocimiento existente sobre el funcionamiento y la estructura de los robledales de *Quercus pyrenaica*, aunque también se incluyen multitud de datos originales tomados por numerosas personas a las cuales queremos expresar nuestro agradecimiento. Los Agentes y Celadores de Medio Ambiente del Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada Fanny Archila, Verónica Bueno, Francisco J. Contreras, Cristina Debén, Pablo Galdo, Isacio M. Hernández, Cristina Martos, Daniel Morillas y Carmen Pulido han participado en este proceso de toma de datos necesario para generar la información incluida en este manual. Muchos de ellos, también han estado implicados en diferentes etapas de la ejecución de los trabajos de gestión de los robledales de Sierra Nevada, aportando experiencias y conocimientos que hemos tratado de incorporar en el manual. Especialmente agradecidos estamos a Juan Reyes, actual coordinador de los Agentes de Sierra Nevada y a su predecesor, Antonio Gómez. Agradecemos el trabajo de Miguel Arrufat, Miguel Galiana, Mariano Guerrero, Rogelio López, Mónica Martínez, José Miguel Muñoz y Antonio Veredas (personal de la Agencia de Medio Ambiente y Agua) para la colecta de datos de campo usados en algunos capítulos de esta manual. José Miguel Muñoz, ha colaborado en la compilación de listados de flora y de especies generadoras de plagas, así como en la revisión de algunas partes del texto. Igualmente, queremos mostrar nuestro agradecimiento a Miguel Ángel Gómez y Antonio Muñoz, del equipo de equilibrios biológicos de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía. A Javier Navarro y a Blanca Ramos, asesores técnicos del Parque Nacional y Parque Natural, de quienes hemos aprendido sobre la gestión de estos bosques y de su biodiversidad. Agradecemos a José Manuel Castilla y a José Pino Díaz (Espacio Natural de Sierra Nevada) que nos facilitaron datos de visitantes a Sierra Nevada.

Los equipos de gestión del Espacio Natural de Sierra Nevada de los últimos años han tenido un papel clave a la hora de impulsar actuaciones de silvicultura en los robledales de Sierra Nevada basadas en la mejora de su capacidad de adaptación y en la recuperación de su funcionalidad ecológica. En este sentido, agradecemos la participación de Francisco Muñoz y Javier Sánchez (Directores actual y anterior del Parque Nacional y Parque Natural), José Luis Martínez e Ignacio Henares (Conservadores actual y anterior) y Miguel Fernández y M. del Mar Lara (Gerentes actual y anterior).

A Rosa María Mateo (Servicio de Publicaciones y Divulgación de la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía) por facilitar las gestiones del ISBN y el Depósito Legal.

Brígida Fernández de Simón, José Ramón Iglesias, José Luis Nieves Aldrey, Antonio Ramos, Josefa Rodríguez Infante, Roberto Salomón y Manuel Iglesias nos cedieron amablemente muchas de las fotos que ilustran las páginas de este manual.

Finalmente, queremos mostrar nuestro agradecimiento a Lourdes Lázaro y a Andrés Alcántara, del Centro de Cooperación para el Mediterráneo de IUCN por las gestiones administrativas que han posibilitado la edición de este manual.

Agradecemos al personal del Laboratorio de Ecología del IISTA-CEAMA su apoyo en las tareas relacionadas con los trabajos dentro del proyecto LIFE ADAP-TAMED.

ÍNDICE

Prólogo	10
<hr/>	
1. Introducción	12
<hr/>	
2. Caracterización de los melojares de Sierra Nevada	15
2.1. Biodiversidad	20
Biodiversidad animal en los robledales de Sierra Nevada	20
Flora y vegetación característica	25
2.2. Conservación	27
<hr/>	
3. Impactos del cambio global sobre los melojares	29
3.1. Cambios de usos del suelo	30
3.2. Cambio climático	33
<hr/>	
4. Estructura y funcionamiento de los robledales en Sierra Nevada	35
4.1. Problemáticas asociadas a su conservación	38
<hr/>	
5. Actuaciones de gestión de los robledales dentro del proyecto LIFE ADAPTAMED	47
5.1. Actuaciones sobre el territorio	48
5.2. Metodologías de seguimiento empleadas dentro del proyecto LIFE ADAPTAMED para evaluar los servicios ecosistémicos del robledal	52
<hr/>	

6. Provisión de servicios ecosistémicos de los melojares de <i>Q. pyrenaica</i>	57
6.1. Servicios de regulación	60
6.2. Servicios de provisión y soporte	66
6.3. Servicios culturales	69
<hr/>	
7. Diseño de actuaciones y/o buenas prácticas para la gestión del robledal en Sierra Nevada	79
<hr/>	
8. Lecciones aprendidas del proyecto LIFE y recomendaciones de gestión	83
<hr/>	
9. Referencias	93
<hr/>	
10. Anexos	101
10.1. Anexo 1. Proyectos relacionados con los robledales en Sierra Nevada	102
10.2. Anexo 2. Listado de especies vegetales	102
10.3. Diversidad de insectos defoliadores y de insectos gallicolas identificados en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED en el Robledal de Sierra Nevada	107
<hr/>	
Glosario	108
<hr/>	

PRÓLOGO

Una de las riquezas con las que cuenta el Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada está representada por su masa forestal.

Diversas especies la componen y de distinto origen, si bien, una de las más características es la comunidad integrada por el roble, el *Quercus pyrenaica* Willd. Con una cobertura que no supera las 3.500 ha, entre los 1.000 y 2.000 m. de altitud, y a pesar de no suponer más del 7% de la superficie forestal de Sierra Nevada, el roble melojo sí aporta una alta singularidad, hasta el punto de haber sido considerado como Hábitat de Interés Comunitario.

Ello se debe a que sus bosques, o melojares, atesoran una gran biodiversidad que acoge cerca de 200 especies de aves, mamíferos, anfibios, mariposas, etc., sin desdeñar los recursos micológicos, de reconocida trascendencia ecológica, social y recreativa, así como económica.

La explotación histórica a la que se han sometido los robledales para la extracción de leña, carbón, creación de pastos, etc., los ha llevado a aumentar su vulnerabilidad al cambio climático. Si tenemos en cuenta los servicios ecosistémicos que prestan, como son el secuestro del carbono o la regulación del clima local, entre otros, valoraremos especialmente la importancia de este manual que nos indica cómo debemos aumentar las posibilidades de supervivencia de nuestros bosques de *Quercus* mediante una *gestión adaptativa*.

El equipo del proyecto LIFE ADAPTAMED ha inventariado estos servicios ecosistémicos, ha trabajado en el territorio llevando a cabo actuaciones de mejora y, ahora, compendia la información en un documento de gran utilidad en el que proponen “una selvicultura sobre los robledales que aúne criterios técnico-científicos, experiencias y una coherencia territorial”.

El manual que ahora tiene entre sus manos es el primero de una serie de cinco manuales que se van a editar en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED. Le sucederán otros basados en los matorrales de alta montaña, en el azufaifar y

otros ecosistemas del ámbito predesértico, en los pinares de repoblación, en el bosque mediterráneo y en la lucha contra los efectos del hongo patógeno *Phytophthora cinnamomi*.

Estos manuales recogen buena parte de la andadura del proyecto LIFE ADAPTAMED y de los conocimientos en él generados. A lo largo de los últimos seis años, este innovador proyecto ha aunado esfuerzos de gestores y científicos y de instituciones muy dispares en pos de la búsqueda de soluciones para poner el acento en las funciones de los ecosistemas y sus servicios, como piezas clave de los espacios protegidos andaluces.

LIFE ADAPTAMED, coordinado desde la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, está teniendo Doñana, Cabo de Gata y Sierra Nevada como escenarios en los cuales discurren sus acciones. Estos tres espacios naturales andaluces emblemáticos están desarrollando una labor pionera, que bien podría ser considerada como la antesala de la gestión del medio natural de un futuro a corto plazo.

Gracias al trabajo del equipo del proyecto LIFE ADAPTAMED, a los colaboradores institucionales y empresariales avanzaremos en los criterios de gestión sostenible del Espacio Natural de Sierra Nevada, en la obtención de los servicios ecosistémicos que nos aporta y podremos, igualmente, seguir disfrutando de los robledales de Sierra Nevada, como el de la Dehesa del Camarate o el de Cáñar, en la cuenca del río Chico.

Francisco de Asís Muñoz Collado
Director del Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada

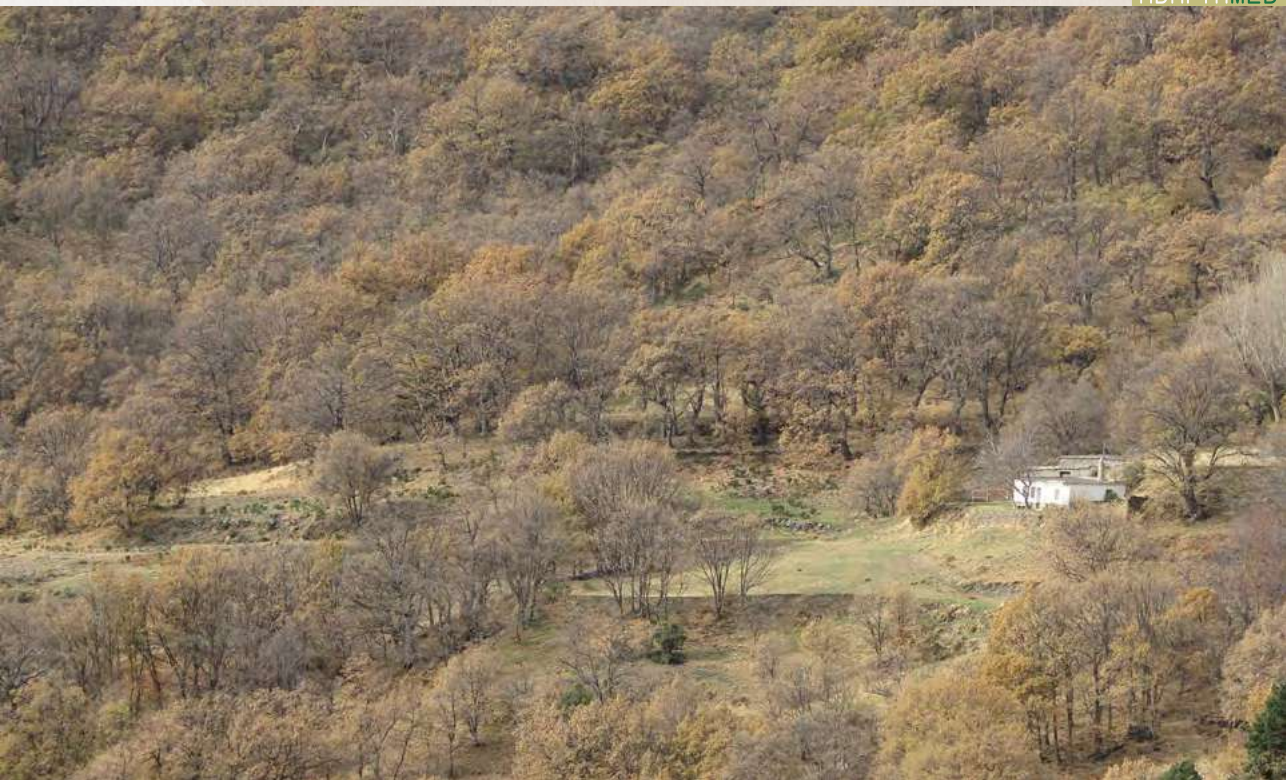
INTRODUCCIÓN

El cambio global plantea un desafío de gran complejidad para los sistemas tradicionales de gobernanza y gestión de la naturaleza. El cambio global obliga a poner en práctica nuevas formas de gestión que faciliten la adaptación de los sistemas naturales a las nuevas condiciones, tratando de maximizar su conservación y aprovechamiento ¹.

Los ecosistemas forestales mediterráneos están sufriendo los impactos del cambio climático y de los cambios de uso del suelo ²⁻⁴. Estos impactos, cuya previsión es que se agraven en un futuro próximo, están repercutiendo en la funcionalidad de los sistemas naturales y en consecuencia en la capacidad que éstos tienen para suministrar servicios ecosistémicos ^{4,5}. La adaptación de los ecosistemas forestales al cambio climático es una pieza clave en este contexto ⁶. El proyecto LIFE ADAPTAMED tiene como objetivo analizar y mitigar el impacto del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos que proveen ecosistemas clave de tres espacios naturales: Cabo de Gata-Níjar, Doñana y Sierra Nevada. Mediante la aplicación de actuaciones de manejo basadas en un marco de gestión adaptativa ⁷⁻⁹, el proyecto desarrolla modelos de actuación que protejan los servicios ecosistémicos y promuevan una mayor capacidad de adaptación frente a diferentes perturbaciones (sequías, plagas) de diferentes ecosistemas mediterráneos representativos (pinares de repoblación, robledales y encinares de montaña, monte mediterráneo, matorrales predesérticos). Para cada tipo de manejo se analiza su afición a la provisión de servicios ecosistémicos mediante evaluaciones (previas y posteriores) de procesos y funciones ecológicas clave vinculadas al suministro de los servicios.

En Sierra Nevada, el efecto del cambio global sobre los robledales es especialmente complejo. El aprovechamiento del bosque ha cambiado sustancialmente en las últimas décadas, lo que ha provocado importantes modificaciones en su composición y estructura ¹⁰⁻¹³. Adicionalmente, el incremento de temperaturas, unido a la reducción de precipitaciones, provoca una mayor evapotranspiración de la vegetación ^{2,14}, y las consecuencias de este incremento en el estrés hídrico pueden ser determinantes en el futuro de los robledales.

Si queremos asegurar el futuro de nuestros robledales, no sólo tendremos que gestionarlos activamente, sino que lo tendremos que hacer bajo criterios de sostenibilidad, facilitando su adaptación a las nuevas condiciones climáticas. El planteamiento de medidas de adaptación es obligado, pero sin perder de vista que el estado actual de los robledales está muy condicionado por la sobreex-



Los robledales de Sierra Nevada se caracterizan por una considerable impronta humana.

plotación a la que han estado sometidos secularmente en el pasado ¹⁵, unido al manifiesto abandono de las explotaciones forestales en Sierra Nevada durante las últimas décadas, lo que condiciona el estado de salud de los robledales en la actualidad ¹².

Los robledales o melojares de roble melojo son unos ecosistemas singulares que en Sierra Nevada se encuentran en el límite sur de su distribución geográfica. En este manual realizamos un diagnóstico, basado en el conocimiento científico-técnico existente, sobre el estado ecológico de los robledales y su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos. Asimismo, realizamos una revisión de las actuaciones de gestión y se describen unas recomendaciones de manejo específicas para Sierra Nevada. Hemos realizado una recopilación de toda la información disponible sobre los robledales en Sierra Nevada, tanto publicada en foros científicos (artículos científicos, comunicaciones en congresos, capítulos de libros, etc.), pasando por bases de datos de programas de seguimiento (por ejemplo, Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada ¹⁶), hasta documentos e informes técnicos utilizados en el ámbito de la gestión de los recursos naturales (ver referencias bibliográficas y anexo 1).



02

CARACTERIZACIÓN DE LOS MELOJARES DE SIERRA NEVADA

Los robledales de roble melojo o melojares son formaciones dominadas por *Quercus pyrenaica* Willd. (Fig. 1) que se distribuyen desde el suroeste de Francia hasta el noreste de Marruecos, ocupando su mayor extensión en la Península Ibérica, donde abarcan una amplia variedad de sitios y nichos ecológicos¹⁷⁻¹⁹. Según el Inventario Forestal Nacional, estas formaciones ocupan 845, 511 ha, lo que supone aproximadamente el 5 % de la superficie forestal de España.

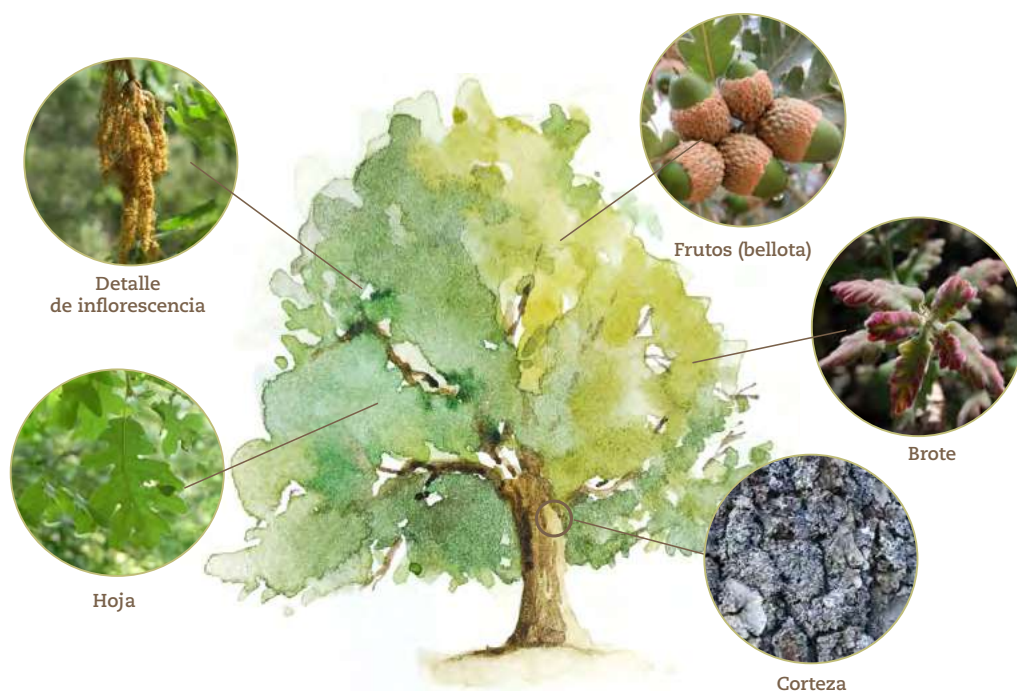


Figura 1. Principales características del roble melojo.

Quercus pyrenaica Willd. es un árbol caducifolio de hojas marcescentes que alcanza hasta 20-25 m, de copa amplia. La corteza cenicienta o pardo-grisácea, gruesa y agrietada. El tronco aparece muchas veces tortuoso. Ramillas pardas cuando jóvenes, después grisáceas, tomentosas. Presenta un sistema radical muy potente con numerosas raíces horizontales, superficiales, copiosamente estoloníferas, que dan lugar a la formación de matas periféricas tapizantes. Hojas pinnatífidas o pinnatipartidas, de base truncada o cordada; las adultas de haz verde y glabrescente y envés densamente tomentoso, con

los pelos estrellados, que a menudo se mantienen marchitas y sin caer durante gran parte del invierno. Flores unisexuales; las masculinas en amentos laxos, colgantes, con perianto de lóbulos hirsutos y estambres expertos; las femeninas con estilos en el interior de un involucre de numerosas escamas (cúpula), en grupos raciformes de 1 a 4, sentadas o cortamente pedunculadas. Fruto en aquenio (bellota), envuelto por la cúpula en su parte basal, solitario o en grupos de 2-3, de color pardo-amari-llento. Florece en abril y mayo; las bellotas maduran en noviembre y diciembre del mismo año.

En Sierra Nevada, los melojares ocupan actualmente una extensión de 3400 ha ²⁰, distribuidas entre los 1000 y 2000 metros de altitud, y situados exclusivamente sobre suelos silíceos. Se han identificado tres grupos homogéneos de acuerdo a sus condiciones ambientales y a sus características ¹¹, observándose diferencias importantes en el funcionamiento y estructura de los robledales de la cara norte y de la cara sur (Fig. 2).

Esta especie requiere de un mínimo de humedad estival para sobrevivir, que algunos autores han estimado en al menos 100 mm de precipitación entre mayo y agosto ^{21,22}. En Sierra Nevada el aporte extra de humedad necesario proviene de dos vías: de los ríos y acequias de careo, o del aire húmedo procedente del Mediterráneo ²²⁻²⁴. En efecto, los melojares en Sierra Nevada aparecen en aquellos enclaves más húmedos y de menor índice de insolación, principalmente barrancos y fondos de valle donde se dan unas condiciones microclimáticas favorables, tal y como ocurre en la zona occidental en orientaciones norte (ríos Alhama de Lugros, Maitena, Vadillo, Genil, Monachil, Dílar y Dúrcal) (Fig. 2); o situados ocupando una determinada altura en la vertiente sur (Alpujarras: loma de Cáñar, barranco del Poqueira, loma de Pitres-Busquístar) en donde actúan como una banda de vegetación que intercepta la humedad procedente del Mediterráneo ^{25,26}. Estas diferencias también tienen reflejo en la composición florística de las poblaciones de ambas vertientes ^{11,27}.

Estos ecosistemas en Sierra Nevada presentan una alta singularidad ecológica. Así, aunque representan menos del 7 % de la superficie forestal existente en el macizo montañoso, atesoran una alta diversidad de especies vegetales en comparación con las otras formaciones forestales ^{28,29} y albergan a especies vegetales consideradas relictas ^{27,30} (Anexo 2). Además de su singularidad fitosociológica, estas formaciones son importantes desde el punto de vista de la provisión de servicios ecosistémicos como veremos más adelante.

Figura 2. Mapa de distribución de los robledales en la Península Ibérica (derecha) y detalle de distribución de las localidades presentes en Sierra Nevada (mapa central).

Hay identificados tres grupos homogéneos de poblaciones: Norte (CAM: Camarate) (azul); Noroeste (GEN: Genil, MON: Monachil, DIL: Dílar, DÚR: Dúrcal) (negro); y Sur (CAN: Cáñar, POQ: Poqueira, TRE: Trevélez) (verde). Disposición de las poblaciones de robledal en la cara norte de Sierra Nevada: p.e. Robledal de San Juan (a); y en la cara sur: p.e. Robledal de Cáñar (b).

ROBLEDAL DE SAN JUAN

Valle: Río Genil
Municipio: Guéjar-Sierra
Superficie: 395 ha
Elevación: 1519 (1189-1899)



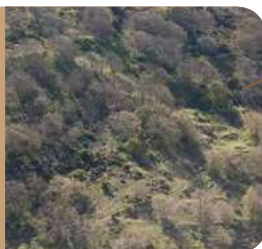
LOMA DE LA PÉRDIZ

Valle: Río Monachil
Municipio: Monachil
Superficie: 204.55 ha
Elevación: 1780 (1564-1990)



UMBRÍA DE LA DEHESA DE DÍLAR

Valle: Río Dílar
Municipio: Dílar
Superficie: 154.07 ha
Elevación: 1764 (1478-1960)



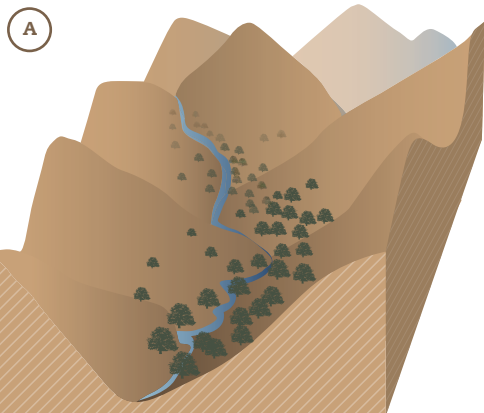
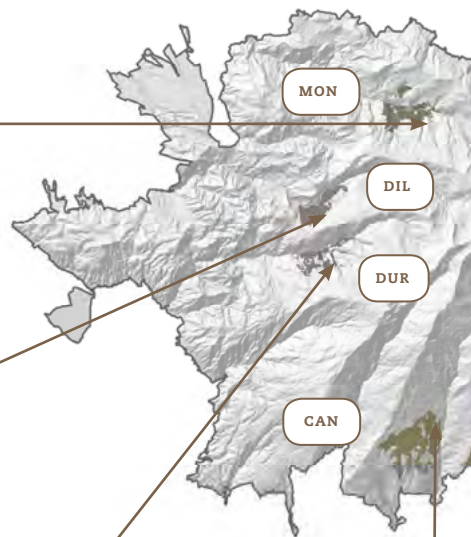
LOMA DE ENMEDIO

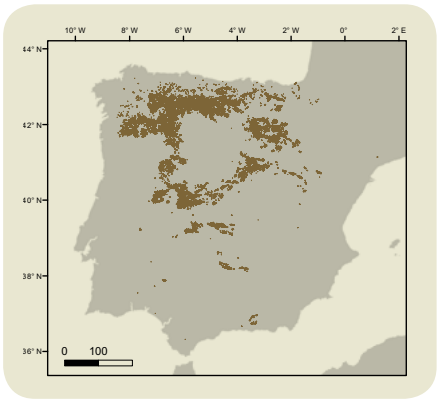
Nombre: Loma de Enmedio
Valle: Río Dúrcal
Municipio: Dúrcal
Superficie: 137.04 ha
Elevación: 1824 (1530-2035)



EL ROBLEDAL DE CÁÑAR

Valle: Río Chico
Municipio: Cáñar
Superficie: 436.2 ha
Elevación: 1687 (1366-1935)





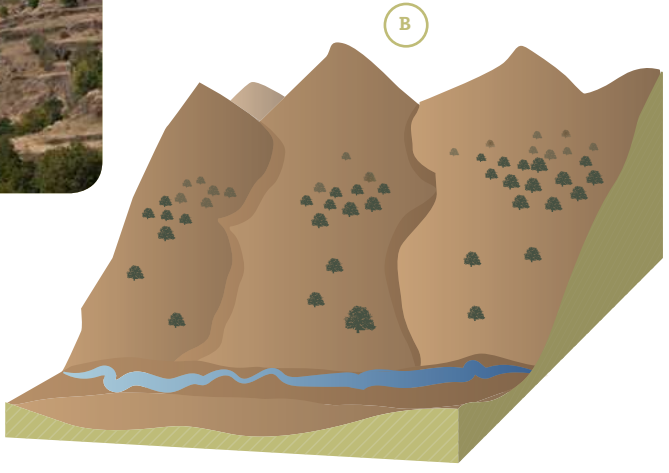
EL CAMARATE
 Valle: Río Alhama
 Municipio: Lugros
 Superficie: 457.15 ha
 Elevación: 1740 (1441-2026)



LOMA DE LOS LOTES
 Valle: Río Trevéz
 Municipios: Pórtugos, Busquístar
 Superficie: 197.92 ha
 Elevación: 1692 (1312-1963)



LOMA DE LA MATANZA Y LOMA DE RAMÓN
 Valle: Poqueira
 Municipios: Sopotújar, Pampaneira, Bubión, Capileira
 Superficie: 458.95 ha
 Elevación: 1740 (1214-1981)



2.1. BIODIVERSIDAD

BIODIVERSIDAD ANIMAL EN LOS ROBLEDALES DE SIERRA NEVADA

Los robledales de Sierra Nevada constituyen ecosistemas especialmente ricos en cuanto a su biodiversidad animal en el contexto del conjunto de las masas forestales de Sierra Nevada. Su condición de formaciones autóctonas ha permitido el mantenimiento de unas comunidades que se han ido deteriorando y perdiendo elementos a una mayor velocidad en otros bosques actuales con un grado de intervención superior (p.e. pinares no autóctonos).



Foto 1. Aves características del robledal. Carbonero común (*Parus major*)(arriba izquierda), Carboreno garrapinos (*Periparus ater*)(arriba derecha), Herrerillo capuchino (*Lophophanes cristatus*)(abajo izquierda) y Trepador azul (*Sitta europaea*) junto a Herrerillo común (*Cyanistes caeruleus*)

Figura 3. Según los seguimientos que llevan a cabo desde el Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada ³¹⁻³³, las comunidades de aves paseriformes de cuatro de los robledales más importantes de Sierra Nevada (Camarate, Genil, Dílar y Cáñar) presentan ciertas diferencias. Los análisis de diversidad muestran que los valores son muy similares entre los robledales situados en la vertiente norte y noroeste (Camarate, Genil y Dílar) y muy superiores a los encontrados en Cáñar (vertiente sur). Sin embargo, la composición específica y la abundancia en términos de abundancia de aves (aves/10 ha) es muy parecida en todas las localidades estudiadas. Buena parte de los contactos de aves paseriformes en Cáñar se corresponden con herrerillo, trepador azul, pinzón o carbonero común, mientras en Camarate, Genil y Dílar la dominancia es menor.

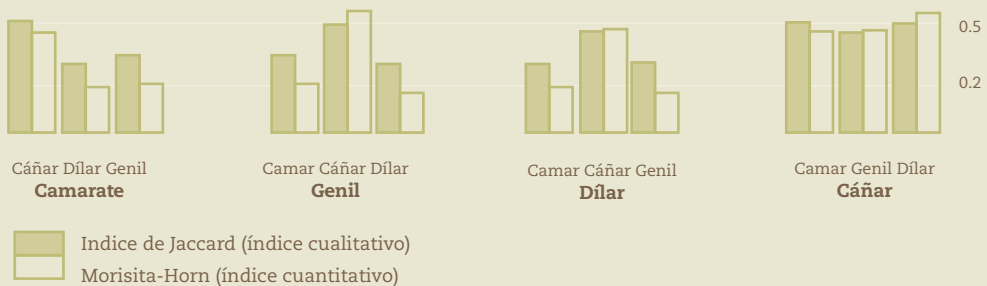
Aves paseriformes de los robledales de Sierra Nevada
Especies dominantes

- | | |
|---|--|
| <p>1. Camarate
<i>Parus major</i>
<i>Cyanistes caeruleus</i></p> | <p>3. Dílar
<i>Cyanistes caeruleus</i>
<i>Fringilla coelebs</i></p> |
| <p>2. Genil
<i>Fringilla coelebs</i>
<i>Emberiza cia</i></p> | <p>4. Cáñar
<i>Cyanistes caeruleus</i>
<i>Sitta europaea</i></p> |



<p>1. Camarate 1740 msnm 457 ha 55 especies de aves 221.52 ± 26.35 indiv/10 ha H': 2.66 ± 0.05 Dominancia: 0.1 ± 0.01</p>	<p>2. Genil 1519 msnm 395 ha 59 especies de aves 185.39 ± 19.32 indiv/10 ha H': 2.82 ± 0.06 Dominancia: 0.1 ± 0.01</p>	<p>3. Dílar 1764 msnm 154 ha 58 especies de aves 263.85 ± 25'89 indiv/10 ha H': 2.85 ± 0.04 Dominancia: 0.08</p>	<p>4. Cáñar 1687 msnm 436 ha 48 especies de aves 263.05 ± 32.75 indiv/10 ha H': 1.94 ± 0.11 Dominancia: 0.28 ± 0.03</p>
--	---	---	--

Índices de disimilaridad:



2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MELOJARES DE SIERRA NEVADA

De la comunidad de aves, se han identificado un total de 73 especies de paseriformes que hacen un uso frecuente de los robledales de Sierra Nevada (Figura 3). Dentro de esta clase, el grupo de especies dominante es el de los páridos, con poblaciones de herrerillo común destacadas en comparación con otros bosques de Sierra Nevada. Una de las especies de aves más importantes y características de estos bosques es el arrendajo (*Garrulus glandarius*), por su papel esencial como dispersante de bellotas, que contribuyen a facilitar la reproducción sexual de la masa ^{34,35}. Los estudios a largo plazo realizados en Sierra Nevada sobre esta y otras aves, han puesto de manifiesto una disminución en la abundancia de arrendajos en las últimas décadas ³². Así la densidad de este dispersor ha pasado de 6.6 ind/10 ha en los años 80 a 1.25 ind/10 ha en la década de los 2010. (Figura 4). La principal causa de este cambio podría ser la densificación de los robledales observada en las últimas décadas como consecuencia del abandono de actividades tradicionales.

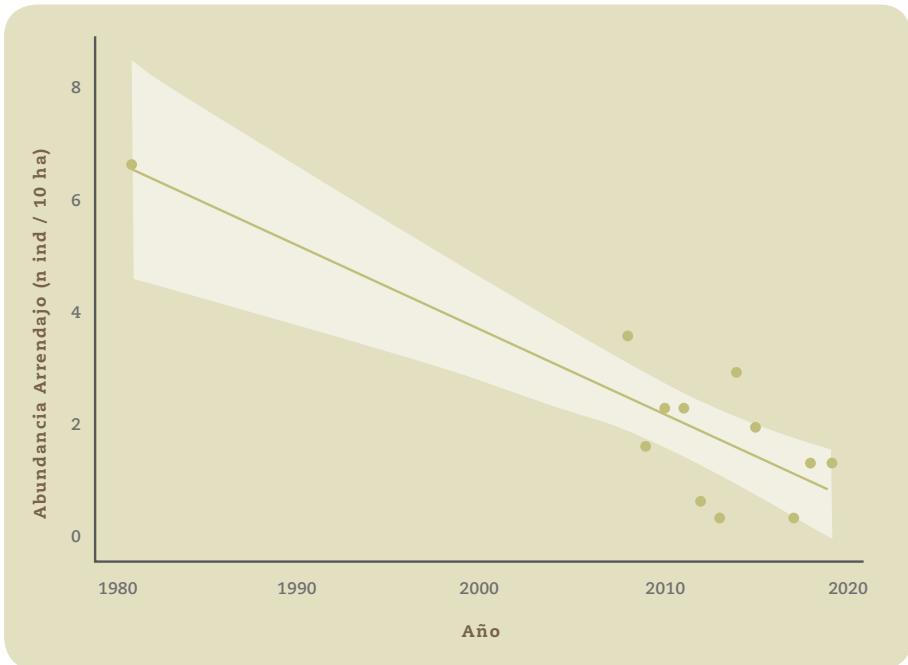


Figura 4. Evolución de la abundancia del arrendajo en el robledal del Barranco de San Juan.



Foto 2. El trepador azul (*Sitta europaea*) es una especie que ha colonizado recientemente los bosques de Sierra Nevada.

Hasta 39 especies de mamíferos usan de forma más o menos continua los robledales de Sierra Nevada, siendo los quirópteros el grupo más nutrido con una representación en Sierra Nevada de 17 de las 25 especies presentes en Andalucía. Existen varias especies que utilizan el robledal como zona de caza, y 3 de ellas son esencialmente forestales y fisurícolas (murciélago común, murciélago de cabrera, y murciélago de borde claro), utilizando los huecos en los troncos de grandes robles para reproducirse.

De los roedores, que están representado por 8 especies, destaca el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*), tanto por su abundancia como por su papel en la dispersión de bellotas. Se trata de un dispersor muy importante para el roble melojo, tanto por la gran cantidad de bellotas que dispersa, como por la distancia a la cual las dispersa, alcanzando distancias de hasta 130 m^{35,36}. Aunque en Sierra Nevada se ha visto que su papel como predador de semillas prevalece sobre el de dispersor, lo cual puede suponer una limitación para la regeneración de esta especie³⁷.

Existen 6 especies de insectívoros en Sierra Nevada, destacando el topo ibérico que aparece frecuentemente en el suelo del robledal, siendo especialmente abundante en aquellas zonas en donde el bosque se alterna con claros más o menos extensos. Entre los mamíferos carnívoros presentes en los robledales de

Sierra Nevada, destaca el gato montés, una especie en regresión en Andalucía debido a la fragmentación de su hábitat ³⁸, que encuentra en estos robledales de Sierra Nevada, sobre todo los de la cara sur, un refugio, presentando valores de abundancia considerables en el contexto de Sierra Nevada.

Finalmente, cabe destacar la presencia de ciervo, con poblaciones en clara expansión y actualmente presente en amplias áreas de la vertiente norte (entre ellas el robledal de la Dehesa del Camarate); de jabalí, con nutridas poblaciones de cabra montés ³⁹. Estos ungulados ejercen una presión de herbivoría que impone filtros en el reclutamiento del roble melojo, al consumir la mayoría de las bellotas y plántulas, así como los juveniles. El roble melojo es una especie muy nutritiva y apetecible, sobre todo cuando son juveniles, siendo más consumida que otras especies como el pino silvestre o la encina ^{40,41}. Estos mamíferos además pueden dañar gravemente las plántulas y juveniles de *Q. pyrenaica*, reduciendo su tasa de crecimiento y alterando la producción de compuestos químicos de defensa ⁴², aunque pueden existir diferencias en función del ambiente lumínico en el que se desarrollan las plántulas ^{40,42}.

En las masas de agua presentes en los robledales (arroyos, fuentes, albercas) encontramos 5 especies de anfibios (todos ellos anuros), destacando por su abundancia y dominancia el sapo común, la rana común y el sapo corredor. Existen 20 especies de reptiles descritas en Sierra Nevada ⁴³ las cuales pueden ser adscritas potencialmente a la herpetofauna de los robledales.

Los invertebrados son el grupo faunístico más diversificado entre la fauna de los robledales. Los coleópteros, son el grupo mayoritario, y están también ampliamente representados en comunidades forestales. Esta rica comunidad de insectos además está compuesta por una notable diversidad de ortópteros, heterópteros, dípteros y himenópteros, por poner otros ejemplos de otros órdenes bien representados en estos ambientes forestales ⁴⁴.

Por otro lado, la comunidad de mariposas diurnas del robledal está compuesta por un total de 93 especies (cerca del 75 % del total de la comunidad descrita para toda Sierra Nevada). Las especies dominantes en estos ambientes son la ondas rojas (incluida en la Directiva Hábitats), la blanca del majuelo, el lobo y el medioluto ibérico. El mayor licénido de Sierra Nevada, la amanda (foto 3), se asocia en Sierra Nevada exclusivamente a los robledales, en donde sus orugas dependen exclusivamente de las praderas de fabáceas del género *Vicia*.

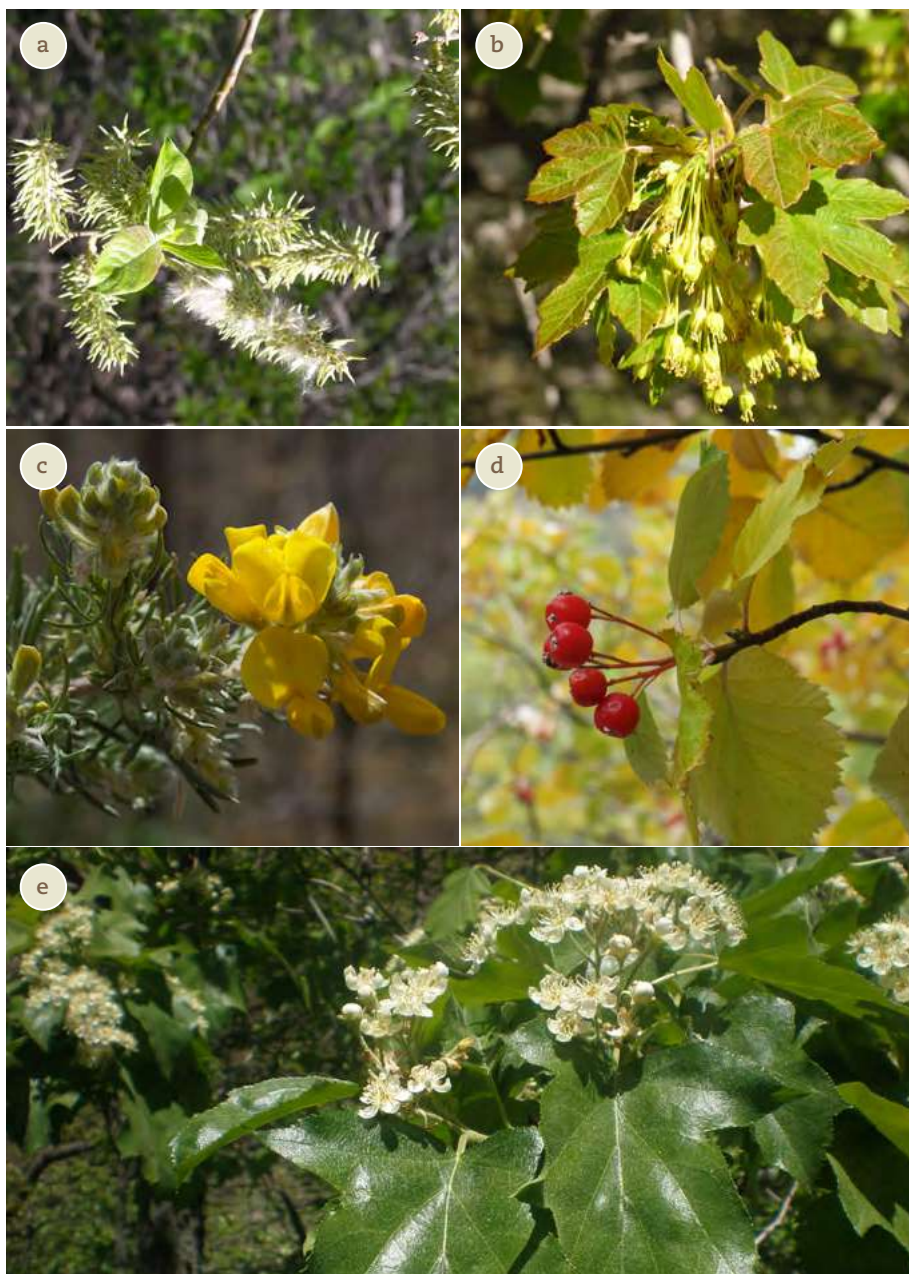


Foto 3. La amanda (*Polyommatus amandus*) es la única especie de mariposa presente Sierra Nevada cuya distribución se ciñe a los robledales. Solamente está presente en los de la vertiente norte y noroeste

FLORA Y VEGETACIÓN CARACTERÍSTICA

Respecto de la vegetación de los robledales, el bosque corresponde a una formación casi monoespecífica de roble melojo (*Quercus pyrenaica*), aunque pueden aparecer otros elementos como mostajo (*Sorbus aria*), manzano silvestre (*Malus sylvestris*), rascaviejas (*Adenocarpus decorticans*), lastón fino (*Festuca elegans*), *Cephalanthera longifolia*, *Luzula forsteri*, *Clinopodium vulgare*, etc. En los lugares más húmedos y como transición hacia comunidades riparias, los melojares se hallan enriquecidos con otros elementos arbóreos como arces (*Acer opalus* subsp. *granatense*) o fresnos (*Fraxinus angustifolia*). Otras comunidades presentes en este dominio son los espinales constituidos por escaramujos (*Rosa canina*, *Rosa pouzinii*), majuelos (*Crataegus monogyna*, *Crataegus granatensis*), agracejos (*Berberis hispanica*), endrino (*Prunus ramburii*), etc. Además se pueden encontrar otras especies que aparecen puntualmente y que son bastante interesantes, como tejos (*Taxus baccata*), espino cervical (*Rhamnus catharticus*), mostajo (*Sorbus torminalis*), sauce cabruno (*Salix caprea*), abedul (*Betula pendula* subsp. *fontqueri*) o el cerezo silvestre (*Prunus avium*)²⁵. En el anexo 2 se muestra un listado con las especies vegetales que se han encontrado en los robledales de Sierra Nevada.

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MELOJARES DE SIERRA NEVADA



Algunas de las especies leñosas que acompañan al roble melojo. (a) *Salix caprea*. (b) *Acer opalus granatensis*. (c) *Adenocarpus decorticans*. (d) *Sorbus aria*. (e) *Sorbus torminalis*.

2.2. CONSERVACIÓN

Q. pyrenaica está incluida con la categoría de “Preocupación menor” en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN ⁴⁵, así como en la Lista Roja Europea de Árboles ⁴⁶. En algunos catálogos autonómicos aparece con diferentes grados de protección. En Andalucía, se consideró como Vulnerable con riesgo menor pendiente de conservación ⁴⁷. Asimismo se incluye en la Lista Roja de la Flora Vascular de Andalucía bajo la categoría “NT” (Casi Amenazada) ⁴⁸. Finalmente, en Sierra Nevada siguiendo criterios UICN se ha catalogado como de menor riesgo, dependiente de la conservación (LR cd) ^{30,49-51}.

Los bosques de *Quercus pyrenaica* están protegidos a nivel europeo por la Directiva Hábitats (92/43/CEE) (en el anexo I como “9230 Robledales galaico-portugueses con *Quercus robur* y *Quercus pyrenaica*”) e incluidos en la Red Natura 2000. Aparecen en diferentes esquemas de clasificación de hábitats:

- EUNIS Hábitat Classification ⁵²: G1.7B4 Baetic [*Quercus pyrenaica*] forests
- Palearctic Habitat Classification 1996 ⁵³: 41.6 *Quercus pyrenaica* forests

El 18.41 % de la distribución actual de los melojares en España aparece bajo algún nivel de protección ya que se encuentran en diversos espacios naturales protegidos. Asimismo aparece en la Lista Patrón de Hábitats Terrestres como 41.64 Bosques béticos de *Quercus pyrenaica*.



Foto 4. El robledal de la Dehesa del Camarate (Lugros) constituye uno de los entornos forestales en mejor estado de conservación de Sierra Nevada



03

IMPACTOS DEL CAMBIO GLOBAL SOBRE LOS MELOJARES

3.1. CAMBIOS DE USOS DEL SUELO

Al igual que otras formaciones forestales, los robledales han sido objeto de intensas presiones de origen antrópico que han provocado la reducción de su área de distribución, así como la modificación en sus patrones florísticos ^{54,55} y estructurales ⁵⁶. Históricamente se han explotado en monte bajo para la obtención de leñas, carbón, taninos y producción de casca ⁵⁷. También se han llevado a cabo clareos para crear pastos con bajas densidades de árboles maduros que proporcionan bellotas, leñas y amplias áreas para el pastoreo e incluso a veces se quemaban para crear áreas de pastoreo ⁵⁸. De hecho, el sobrepastoreo en estas formaciones provocaba unas importantes pérdidas de suelo, aspecto que se viene señalando por los gestores forestales desde final del siglo XIX ⁵⁹. Todos estos procesos antropogénicos han transformado tanto las estructuras de los



robledales, que es difícil encontrar rodales que puedan considerarse como bosques naturales ⁵⁷.

Esta presión antrópica también se ha observado en los robledales de Sierra Nevada ⁶⁰ (Fig.5), donde el intenso aprovechamiento ganadero y forestal, la roturación de espacios para nuevos cultivos y pastos, la explotación de leña para uso doméstico o industrial, e incluso los incendios forestales, han ocasionado la reducción de la superficie que ocupaban estas formaciones ⁶¹. Por ejemplo, el melojar de la Solana de la Dehesa de San Jerónimo, sufrió una tala masiva en la posguerra para utilizar la leña como gasógeno para los automóviles ²².

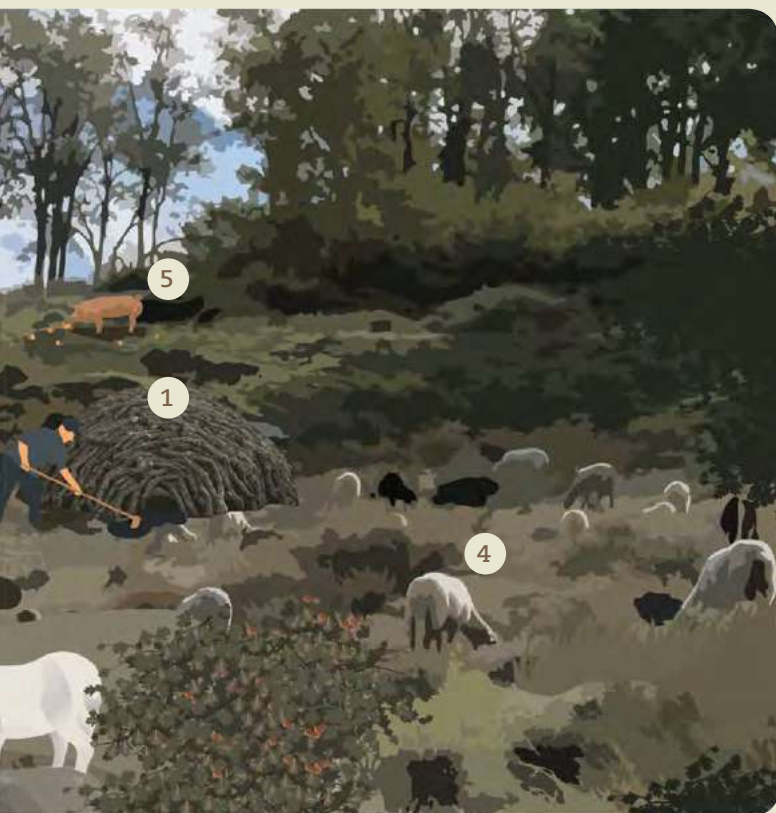


Figura 5. Principales usos antrópicos del robledal de Sierra Nevada

1. Pilas de leña para carboneo tradicional
2. Quemados para la creación de áreas de pastoreo y cultivos
3. Leñas para uso doméstico
4. Pastoreo
5. Producción de bellotas

En algunas zonas, la presión antrópica ha sido tan intensa, que se perdió por completo la cubierta forestal, lo que ocasionó graves problemas de erosión. Esto dio lugar a que se llevaran a cabo repoblaciones forestales principalmente con especies de pino acompañadas marginalmente por otras especies ⁶². Así por ejemplo, la cuenca del Río Chico de Cáñar, considerada como la más torrencial de España por el cuerpo de Ingenieros de Montes ⁶³, fue objeto de diferentes repoblaciones forestales desde principios del siglo XX. En dichas repoblaciones se llevaron a cabo algunas siembras experimentales con diversas especies, incluidos robles. Es destacable también que en algunas de estas zonas fuertemente antropizadas, se observan notables procesos de recolonización por parte de la vegetación autóctona tras aplicar acotamientos o vedas. Así por ejemplo, en 1909 tras tres años de acotamiento, se observó la recolonización de la vegetación natural de cerca de 400 ha en una zona de la repoblación realizada en la cuenca del río Chico de Cáñar ^{63,64}.



Foto 6. Pastizales creados en mitad del robledal y usados históricamente como recurso agrícola y ganadero en la montaña.

Todas estas actuaciones condujeron a una sobreexplotación de los robledales cuya configuración actual en Sierra Nevada depende fuertemente del uso del pasado ¹² al igual que otras formaciones vegetales ⁶⁵. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XX se produjo un abandono rural que produjo una disminución de la presión antrópica sobre los ecosistemas forestales. El abandono de los usos tradicionales ha supuesto un incremento en la superficie ocupada, así como una mayor densificación y crecimiento de los robledales ^{15,66}, principalmente debido a la colonización de cultivos abandonados ⁶⁷. Estos procesos se han observado de forma generalizada para otras formaciones forestales a lo largo de todo el continente europeo, sobre todo en las zonas montañosas ^{68,69}.

3.2. CAMBIO CLIMÁTICO

Quercus pyrenaica presenta una alta vulnerabilidad al cambio climático en la Península Ibérica ⁷⁰, lo cual es particularmente importante en las zonas más cálidas de su distribución ⁷¹. Las simulaciones basadas en modelos de distribución de especies pronostican una disminución en la idoneidad del hábitat para esta especie (Figura 6), que potencialmente puede suponer una reducción en la superficie ocupada a consecuencia del aumento de temperatura pronosticado ^{72,73}. Esto es particularmente importante para Sierra Nevada, donde además de la disminución del área de ocupación se prevé una migración altitudinal ^{73,74}.

Además algunos estudios han pronosticado que las zonas actualmente ocupadas por los robledales en Sierra Nevada serán óptimas para los encinares ⁷³.

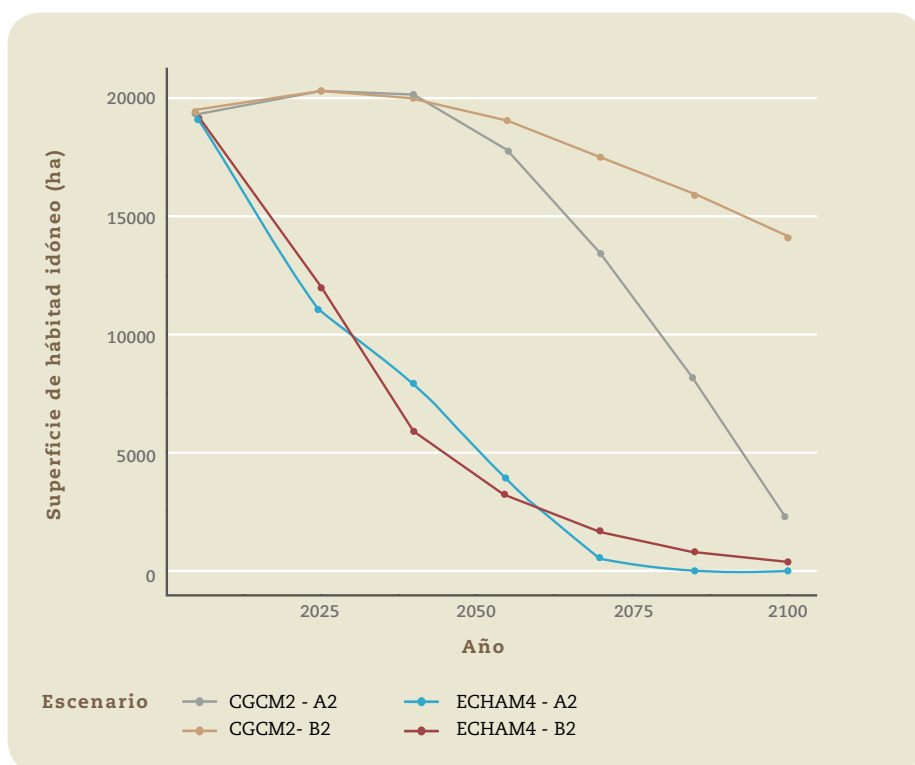


Figura 6. Evolución temporal de la superficie de hábitat idóneo para el robledal en Sierra Nevada según cuatro escenarios de cambio climático ^{73,74}.



04

**ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE
LOS ROBLEDALES EN SIERRA NEVADA.
PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS A SU
CONSERVACION**

En Sierra Nevada se han identificado 3 grupos de robledales de acuerdo a sus condiciones ambientales y a su composición florística ¹¹. Los robledales de Cáñar (CAN), Poqueira (POQ) y Trevélez (TRE) forman el grupo del Sur (S); mientras que los robledales de Genil (GEN), Monachil (MON), Dílar (DIL) y Dúrcal (DUR) conforman el grupo del Noroeste (NW); y el robledal del Camarate (CAM) representa el grupo del Norte (N).

Se ha observado que esta agrupación de robledales está determinada principalmente por la disponibilidad hídrica. La precipitación anual y estival son los factores que mejor explican la distribución de esta especie en Sierra Nevada ¹¹. Las diferencias en la disponibilidad de agua entre las poblaciones de roble son importantes ya que podrían afectar a varios procesos ecológicos como el crecimiento de los árboles ^{12,71}, la germinación de las plántulas y la supervivencia ^{34,75,76}, y la regeneración de la especie ⁷⁷, principalmente debido al papel clave del agua al facilitar la germinación y el establecimiento de las plántulas.

Un aspecto interesante a destacar es que la agrupación de las poblaciones de robledal respecto a las variables ambientales concuerda con la agrupación de las poblaciones atendiendo a su composición florística ¹¹. Las diferencias entre las poblaciones basadas en variables ambientales están en consonancia con las diferencias puestas de manifiesto por otros estudios para los diferentes robledales de Sierra Nevada. Así pues, se han observado diferencias en la productividad primaria (medida a través de datos de satélite) de las diferentes poblaciones de roble, con los robledales de la cara sur mostrando un mayor verdor de la vegetación que los de la cara norte ^{12,78,79}. Además, se han encontrado diferencias tanto en la dinámica estacional del verdor de la vegetación ⁷⁹, como en las tendencias temporales de la productividad primaria en los últimos años relacionadas con las tendencias diferenciales de la duración de la cubierta de nieve en las diferentes laderas de Sierra Nevada ^{78,80}.



Foto 7. Las acequias tradicionales de careo aportan recursos hídricos que facilitan el mantenimiento del robledal en un contexto de cambio climático

4.1 PROBLEMÁTICAS ASOCIADAS A SU CONSERVACIÓN

Los robledales en Sierra Nevada están en el límite geográfico de su distribución natural. Al igual que el resto de los robledales de la Península Ibérica, han sufrido una intensa historia de manejo en los últimos siglos ^{10,12,13,81,82}.

Las principales amenazas que sufren los melojares parecen estar relacionadas con las transformaciones productivas y de usos del suelo generadas por los intensos cambios socioeconómicos ocurridos durante las últimas décadas ^{83,84}. Este conjunto de efectos se ha convertido en el principal agente transformador de los melojares, que además pueden actuar de forma sinérgica con los impactos derivados del cambio climático.

La sustitución de los robledales en el pasado por cultivos y pastos relegó al roble a las laderas y pendientes más inclinadas ^{18,21,66,85}. El abandono de los usos forestales tradicionales ha provocado posteriormente una acumulación de biomasa en el monte que incrementa la vulnerabilidad y la sensibilidad de estas formaciones ante los incendios forestales ^{18,86,87}. Por otro lado, debido a la gran capacidad de recuperación que presenta esta especie frente a perturbaciones puntuales (como un incendio) ^{87,88}, el riesgo de sufrir incendios recurrentes aumenta debido a la acumulación de altas densidades de biomasa aérea ^{86,89}.



Foto 8. Ejemplo de exceso de competencia en el robleal tras el abandono de los usos tradicionales

Otras amenazas específicas sobre los melojares responden a los problemas de una escasa producción de bellota y una baja supervivencia de las plántulas. No obstante, a pesar de que el origen asexual parece ser el predominante en la mayoría de las formaciones actuales al proceder de rebrotes que dejaron de ser pastoreados o cortados, algunos estudios muestran que la contribución del rebrote vegetativo es diferente en cada población, aunque hay mayor proporción de rebrote vegetativo en los montes bajos que en los adeshados ^{13,90,91}. Esta mayor clonalidad de los montes bajos, no suponen necesariamente pérdidas de diversidad genética ^{13,58,91,101}.

PRODUCCIÓN DE BELLOTA

Tradicionalmente se ha asumido que los robledales, debido a su debilitado estado de salud, producen pocas bellotas. De hecho se han aclarado las masas con el objetivo de reducir la competencia por los recursos y mejorar el estado de la masa ^{86,92,93}, lo cual puede derivar en una mayor capacidad de reproducción y de producción de bellota ⁹⁴. Sin embargo, se ha visto en algunas especies congéneres que estos efectos se mantienen solo en el corto plazo ⁹⁵, y que incluso pueden llegar a producir una disminución de la producción de bellota ⁹⁶.

Ante este panorama, hay que tener en cuenta que *Q. pyrenaica*, al igual que otras especies de *Quercus*, muestra una marcada variación anual en la producción de bellotas (fenómeno conocido como vecería). De hecho, en Sierra Nevada, varios estudios han encontrado que el roble melojo tiene un ciclo anual de producción de bellotas muy variable ^{37,77}. Los resultados de seguimientos fenológicos realizados en los robledales de Sierra Nevada, han puesto de manifiesto la existencia de patrones espaciales en la producción de flores y bellotas ⁹⁷. Así se ha observado mayor producción de frutos en las poblaciones de la cara sur de Sierra Nevada. De igual modo, en todas las poblaciones analizadas se observan diferencias en la producción relacionada con la elevación, mostrando mayor producción de bellota en las cotas altas que en las cotas bajas. No obstante, no existen estudios a largo plazo que corroboren una disminución en la producción de bellota en el roble melojo.

DISPERSIÓN DE SEMILLAS

Se ha constatado una disminución poblacional en las últimas décadas de las poblaciones de arrendajo (*Garrulus glandarius*), el principal dispersor de bellotas de esta especie. En los últimos 30 años la densidad de este córvido ha pasado de 6.6 ind/10 ha en los años 80 a 1.25 ind/10 ha en la actualidad³². La principal causa de este cambio podría ser la densificación de los robledales observada en las últimas décadas como consecuencia del abandono de los cultivos de montaña, además de un efecto de reducción poblacional en los núcleos fuente contiguos.

PREDACIÓN DE SEMILLAS

Los herbívoros pueden limitar la regeneración del robledal, bien consumiendo directamente las semillas, o las plántulas y juveniles. Las bellotas de roble melojo son consumidas por varias especies de vertebrados como el ratón de campo, el jabalí o el ganado doméstico^{34,77}, que actúan en diferentes microhábitats. Por ejemplo, los jabalís prefieren los espacios abiertos mientras que los ratones consumen selectivamente las bellotas situadas debajo de los arbustos, por lo que disminuyen los lugares seguros para el reclutamiento³⁷.

HERBIVORÍA Y RECLUTAMIENTO

Las poblaciones de roble melojo sufren una considerable mortalidad de plántulas y juveniles, debido fundamentalmente a la sequía estival y a los daños por la herbivoría causada por los ungulados^{34,42}. Las plántulas emergidas sufren unas altas tasas de mortalidad, debidas fundamentalmente al pisoteo y al consumo por parte de vertebrados como jabalíes, ratones y liebres^{34,77}.

Algunos trabajos que han comparado las características químicas de diferentes especies arbóreas de interés forestal presentes en Sierra Nevada, han puesto de manifiesto como estas diferencias propician un consumo diferencial por parte de los ungulados⁴⁰⁻⁴². Así por ejemplo, el roble y el arce presentan una alta calidad nutritiva en comparación con otras especies forestales con las que conviven (p.e. pino albar, pino salgareño y encina), lo que supone una alta probabilidad de consumo, incluso cuando son juveniles (Fig. 7).

El efecto de la herbivoría sobre la regeneración de las especies depende, además de la frecuencia y severidad con la que son ramoneados los individuos (juveniles), de la capacidad de tolerancia que presentan las especies (Fig. 7). Los juveniles de especies leñosas más resistentes (con menor probabilidad de consumo), mostraron una menor recuperación tras la herbivoría respecto a las especies más palatables (con mayor probabilidad de consumo)⁴¹.



Figura 7. Problemática de conservación de los robledales de Sierra Nevada. Comparación del comportamiento del roble melojo con otras especies arbóreas con las que convive en Sierra Nevada respecto a diferentes procesos ecológicos que afectan a su conservación ^{34,40-42,75-77}

El roble y el arce, son las especies más consumidas por su alto valor nutritivo, pero también son las especies con una mejor recuperación del tejido perdido con la herbivoría. Mientras que las dos especies de pino son las más resistentes a la herbivoría debido a su bajo valor nutritivo y a la presencia de terpenos ⁴⁰⁻⁴².

RECLUTAMIENTO Y SEQUÍA

Otro factor a tener muy en cuenta respecto al reclutamiento es la intensidad y duración de la sequía estival. Cuando los veranos son típicamente muy secos, especies como el tejo o el pino silvestre no reclutan, mientras que lo hacen con mucha dificultad el serbal y el arce, así como el roble y la encina, siendo esta última la que mayor probabilidad de reclutamiento presenta. Por el contrario, cuando ocurren veranos más húmedos, con mayor incidencia de tormentas, aumenta el reclutamiento para todas las especies, siendo especialmente significativo el incremento para las especies mediterráneas y submediterráneas, como el roble, cuya supervivencia del banco de plántulas aumenta drásticamente en los años más húmedos (Fig. 7) ⁷⁶.

CRECIMIENTO

Los robledales en Sierra Nevada están en el límite geográfico de su distribución natural, y unido a la vulnerabilidad que presentan estas formaciones frente al cambio climático ^{73,99,100}, es esperable que su crecimiento se vea limitado, ya que están al límite teórico de su capacidad de automantenimiento. Sin embargo, estudios recientes han observado una tendencia positiva en los últimos años tanto en la productividad primaria del ecosistema (medida utilizando índices de vegetación ⁷⁸⁻⁸⁰), como en el crecimiento secundario ¹².

VARIABILIDAD GENÉTICA

Tradicionalmente se ha asumido que el abandono de los usos tradicionales ha supuesto un empeoramiento en el estado de conservación de las masas de roble y un agotamiento de las cepas, provocando una pérdida de diversidad genética. Sin embargo, varios estudios han revelado que los robledales nevadenses muestran una considerable diversidad genética ^{13,58,101}.

PLAGAS Y DEFOLIADORES

Insectos galícolos

Las especies del género *Quercus* son la base para el desarrollo del ciclo biológico de los cinípidos, un grupo de insectos himenópteros que efectúan la puesta de

sus huevos en diferentes partes de estos árboles (yemas, hojas, ramas), induciendo el desarrollo de unas estructuras anormales conocidas como agallas, como reacción específica a la presencia o actividad del cinípido. Estas agallas proporcionan cobijo a alguna fase del ciclo biológico de éste ⁵¹. Durante su forma de avispa, cada insecto induce la formación de estructuras con formas y colores vistosos, siendo la agalla generada por cada especie de insecto de una forma característica. En Sierra Nevada se han citado 30 especies de cinípidos, lo que representa el 21 % de las especies ibéricas ⁹⁸. Tres especies del género *Neuroterus* spp. (*N. anthracinus*, *N. quercusbaccarum* y *N. numismalis*) han sido los cinípidos formadores de agallas en hojas identificados con mayor frecuencia durante los seguimientos del proyecto LIFE ADAPTAMED. Entre los que afectan a las yemas, destaca la incidencia de *Andricus solitarius*, *A. foecundatrix* y *Biorhiza pallida* (Fig. 8).

El nivel de incidencia de estos insectos no es homogéneo ni en el espacio ni en el tiempo. En Sierra Nevada, las agallas de la superficie de la hoja suelen ser más abundantes en las cotas inferiores y su nivel de incidencia es diferente según el año. Parecen tener apetencia por las condiciones ecológicas que les ofrecen determinados ejemplares de roble frente a otros.

Complejo defoliador

El complejo de lepidópteros defoliadores asociados a las especies del género *Quercus* está formado por más de 50 especies, pertenecientes a las Familias *Noctuidae*, *Tortricidae*, *Geometridae*, *Lycaenidae*, *Phycitidae*, *Drepanidae* y *Lasiocampidae*, en orden de mayor a menor importancia en cuanto a número de ejemplares recogidos ^{152,153}. En Sierra Nevada se han encontrado más de 25 especies, siendo las más frecuentes en el periodo muestreado durante el proyecto LIFE ADAPTAMED *Tortrix viridana*, *Archips xylosteana* y *Catocala nymphagoga* (Fig. 8), aunque hay que tener en cuenta que el comportamiento de muchas de estas especies tiene un claro componente cíclico (ejemplo *Lymantria dispar* o *Malacosoma neustria*), comportándose como plagas sólo en determinados años. Por lo tanto, si el periodo de seguimiento es menor al periodo de recurrencia de la plaga, su abundancia puede verse subestimada.

Se ha detectado un aumento puntual en algunos años en la incidencia del complejo defoliador de *Quercus* en las masas de Sierra Nevada. Este aumento en las defoliaciones podría tener efecto en la producción de bellota de los robles.

Figura 8. Agallas (Izquierda) y plagas defoliadoras de roble en Sierra Nevada (derecha, oruga e imago)



AGALLAS

Andricus foecundatrix



Neuroterus quercusbaccarum



Andricus solitarius



Andricus coriaceus



Neuroterus numismalis



Biorhiza pallida



OTROS DEFOLIADORES

Tortrix viridiana



Lymantria dispar



Malacosoma neustria



Euproctis chrysorrhoea





05

**ACTUACIONES DE GESTIÓN DE
LOS ROBLEDALES DENTRO DEL
PROYECTO LIFE ADAPTAMED**

En el proyecto LIFE ADAPTAMED, considerando la vulnerabilidad y sensibilidad de esta formación al cambio climático, y atendiendo a las necesidades de gestión que estas masas requieren, nos hemos planteado realizar diferentes actuaciones de gestión para analizar cómo se ven afectados por el cambio global los servicios ecosistémicos que proporcionan los robledales.

En este apartado describimos las actuaciones que se han realizado y los diferentes indicadores de seguimiento que se han utilizado para valorar sus efectos.

5.1. ACTUACIONES SOBRE EL TERRITORIO

El objetivo de las actuaciones ha sido la reducción de la competencia mediante la extracción de los pies sin porvenir dentro de cada cepa o mata, que no emplean su savia bruta de manera eficiente debido a la escasa superficie foliar e iluminación insuficiente. Tras este tratamiento selvícola, los pies que quedan, al aumentar su abastecimiento de savia bruta, responden con un mayor crecimiento, aumentando el tamaño de su copa y su superficie foliar y mejorando su vitalidad y posibilidad de fructificación. La disminución en la competencia por agua permite un mejor estado fisiológico de las masas, que se traduce en mayores posibilidades de sobrevivir a episodios de sequía. Esta mejora en el estado fisiológico de la vegetación, junto al aumento de la diversidad florística, incrementa la resistencia del ecosistema frente al ataque de plagas forestales, aumentando la resiliencia del ecosistema a largo plazo.

Se seleccionaron diferentes rodales de roble (10 ha por rodal) distribuidos a lo largo de un gradiente de elevación en la cara sur de Sierra Nevada (Fig. 9) :

- Rodal 1. **Cota alta** (1900 m). Rodal puro, situado en el límite altitudinal superior del roble, representando el ecotono con el matorral de alta montaña.
- Rodal 2. **Cota intermedia** (1700 m). Rodal puro.
- Rodal 3. **Cota baja** (1600 m). Rodal mixto situado en la parte baja donde el roble contacta con el encinar.

Los rodales de actuación 1 y 2 se ubican en el monte “Coto del Roble”, en el Término Municipal de Cañar (Granada). El rodal 3 se localiza en el monte “El Coto”, en el término municipal de Pórtugos (Granada).

Figura 9. Mapa con la distribución de los tratamientos implementados en la acción de gestión de los robledales de montaña en el proyecto LIFE ADAPTAMED e imágenes áreas con el detalle de los sitios de actuación específicos



Localización de las parcelas de actuación del proyecto en robledal puro (Cáñar) (arriba) y en robledal-encinar (abajo) (Pórtugos)



Se combinaron resalveos (orientados a reservar los mejores pies o resalvos) y claras selectivas por lo bajo en robles, tomando como límite indicativo diámetros basales de unos 15 cm. Se extrajeron preferentemente los pies dominados, deformes y puntisecos (los llamados “sin porvenir”). A igualdad de condiciones de calidad entre todos los pies de una cepa o mata, se extrajeron preferentemente los del interior de la misma para aumentar el espaciamiento entre resalvos. En cada localidad se han comparado dos actuaciones con diferente intensidad, en las cuales se han seleccionado los porcentajes de resalveo y clara selectiva en función de los diámetros y densidades de la masa de partida (Fig. 10).

Asimismo, en cada rodal de actuación se llevaron a cabo diferentes tratamiento de los residuos. Las trozas grandes aprovechables para leñas se han dejado apiladas en la proximidad de los caminos y pistas para su retirada por parte de la población local, para que puedan ser utilizadas como combustible de calefacción en chimeneas y estufas. Los residuos menores se han triturado y se han dejado en el suelo, ya que suponen un aporte fundamental para mejorar la estructura y propiedades fisicoquímicas de éste. Se implementaron tres alterativas:

- *Residuo fino en cordones*: acordonado y picado de manera intensa para que el residuo sea de pequeño tamaño.
- *Residuo grueso en cordones*: acordonado y picado de manera poco intensa para que el residuo tenga un tamaño intermedio.
- *Residuo esparcido*: residuo distribuido por la parcela, picado en el lugar donde se haya generado sin acordonarse previamente.

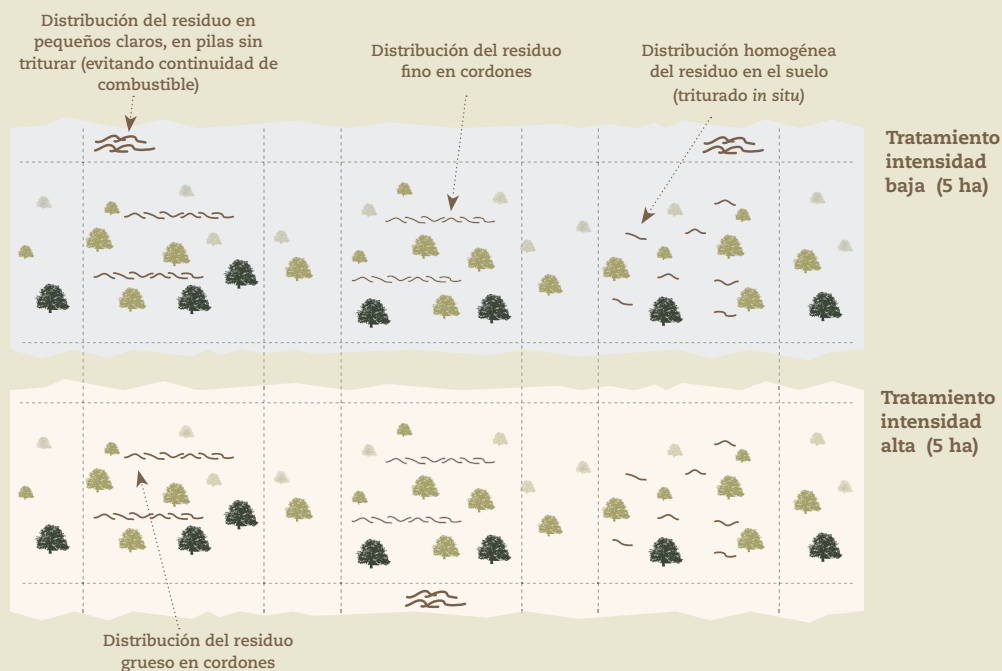
Las ramas más gruesas se dejan apiladas al borde de los caminos para que la población local las aproveche como leña.

Este planteamiento del residuo a tres niveles permite un análisis comparativo de la evolución de la diversidad vegetal, la regeneración y el contenido en carbono orgánico del suelo en cada uno de los tres escenarios. Con el apilado se prevé facilitar, entre otros beneficios ecológicos, la dispersión de frutos, acumulación de semillas y el reclutamiento de nuevos ejemplares tanto de roble y encina como del matorral acompañante. Las pilas de residuo sin triturar se sitúan en pequeños claros, disminuyendo el riesgo de incendio al evitar la continuidad de material combustible en el monte.

Figura 10. Esquema de los tratamientos realizados dentro de las actuaciones de gestión de los robledales en el proyecto LIFE ADAPTAMED que se llevará a cabo en las parcelas de acción C6 en el Parque Nacional y Parque Natural Sierra Nevada

En la siguiente tabla se resumen las actuaciones llevadas a cabo en cada una de las localidades. Para todas ellas, en rodales de 5 ha se realiza una actuación de intensidad baja (color azul), mientras que en otro rodal de 5 ha se realiza una actuación de intensidad moderada-alta (color beis). En todos los casos, puntualmente se cortan pies de diámetros mayores si están puntisecos o enfermos

LOCALIDAD	MASA	ACTUACIÓN
01	Robledal denso con abundancia de chirpiales	Resalveo de todos los pies menores de 6 cm.
		Resalveo de todos los pies menores de 6 cm, apeo y desramado 75% pies 6-12 cm de diámetro.
02	Robledal denso con abundancia de chirpiales	Resalveo de todos los pies menores de 6 cm.
		Resalveo de todos los pies menores de 6 cm, apeo y desramado 50% pies 6-12 cm de diámetro.
03	Masa mixta de roble y encina	Resalveo de todos los pies menores de 6 cm, apeo y desramado 30% pies 6-12 cm de diámetro.
		Resalveo de todos los pies menores de 6 cm, apeo y desramado 75% pies 6-12 cm de diámetro.



5.2. METODOLOGÍAS DE SEGUIMIENTO EMPLEADAS DENTRO DEL PROYECTO LIFE ADAPTAMED PARA EVALUAR LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL ROBLEDAL.

Los rodales en los que se han llevado a cabo las actuaciones de gestión han sido objeto de un seguimiento ecológico intensivo antes y después de la implementación de los tratamientos con el objetivo de evaluar el efecto de estas intervenciones sobre la restauración de las funciones ecológicas, y poder inferir cómo se ve afectada la provisión de servicios ecosistémicos. Para ello realizamos un seguimiento de diferentes procesos y funciones ecológicas vinculadas directamente con los servicios ecosistémicos. Este seguimiento de procesos se realiza en parcelas tratadas y en parcelas control a dos escalas: seguimiento ecológico a escala de campo y seguimiento ecológico a escala de paisaje (Fig. 11).

SEGUIMIENTO ECOLÓGICO A ESCALA DE CAMPO

En cada parcela (control o tratamiento) se han medido las siguientes variables relacionadas con aspectos funcionales del ecosistema:

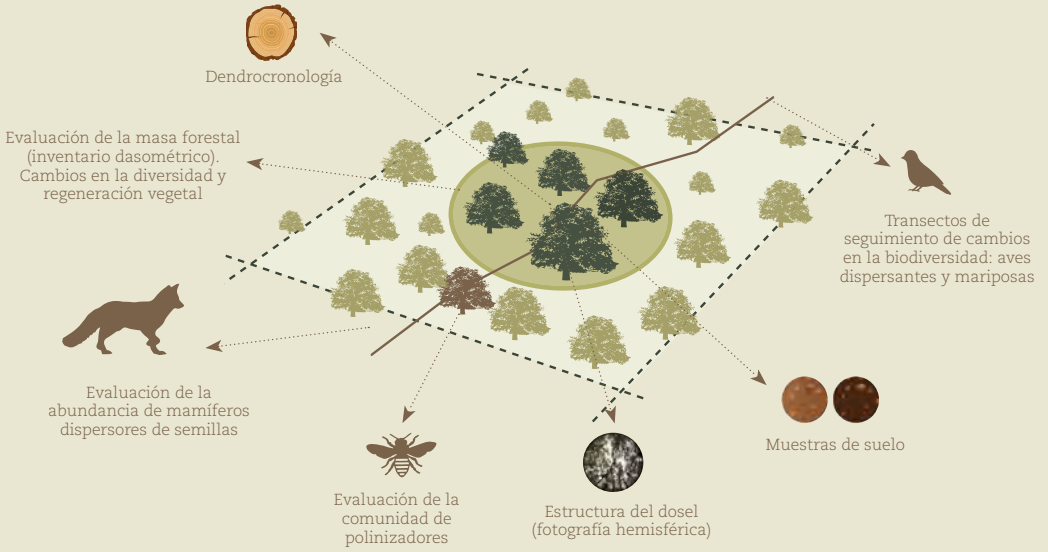
- Evaluación de los cambios en el stock del carbono orgánico del suelo como consecuencia de las actuaciones realizadas.
- Inventarios dasométricos y fotografías estereoscópicas hemisféricas para establecer una caracterización tridimensional que finalmente es aplicada para caracterizar desde el punto de vista dasométrico la parcela y para inferir indicadores relacionados con la cobertura.
- Cambios en la diversidad y regeneración vegetal, así como en la estructura espacial de la vegetación.
- Seguimiento de diferentes comunidades de animales (aves paseriformes, mamíferos carnívoros) que informan acerca del servicio ecosistémico de dispersión de semillas.
- Evaluación de cambios en la biodiversidad de organismos clave (aves, mamíferos carnívoros y mariposas diurnas).
- Seguimiento de la abundancia y diversidad funcional de los polinizadores.
- Evaluación de los cambios en el crecimiento de los árboles mediante técnicas de dendrocronología.

Foto 9. Seguimiento ecológico a escala de campo. Muestreos de vegetación (arriba) y fotos hemisféricas tomadas en las parcelas (centro). Extracción de testigos para estudios dendrocronológicos (abajo izquierda). Seguimiento de plagas y defoliadores (abajo derecha).

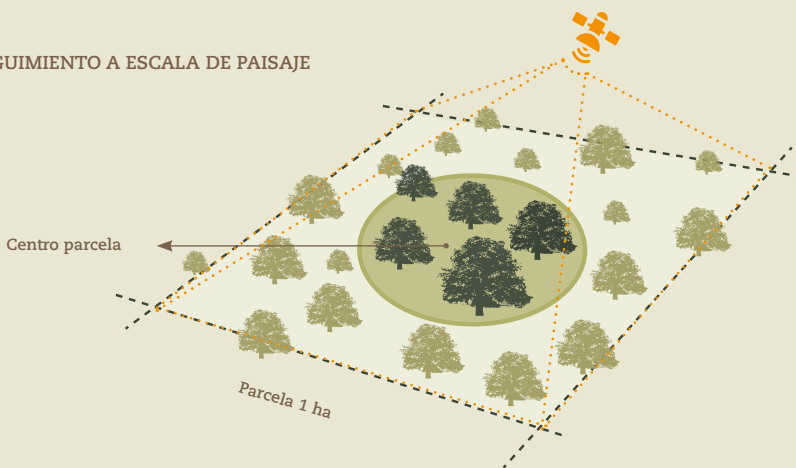


Figura 11. Seguimiento ecológico a escala de campo y de paisaje en las parcelas tratadas en el marco del proyecto LIFE ADAPTAMED.

SEGUIMIENTO A ESCALA DE CAMPO



SEGUIMIENTO A ESCALA DE PAISAJE



SEGUIMIENTO ECOLÓGICO A ESCALA DE PAISAJE

El análisis de imágenes satelitales permite identificar funciones ecosistémicas y patrones espaciales de gran interés para contrastar el efecto de las actuaciones de manejo en los robledales. Los productos de teledetección pueden contribuir en gran medida a caracterizar y monitorear las funciones de los ecosistemas que subyacen a la provisión de servicios ecosistémicos clave ¹⁰². El seguimiento en el robledal se efectúa a través de imágenes Landsat 8 OLI tomadas desde el año 2013 hasta la actualidad (foto 10). La resolución espacial es el píxel de 30 metros de lado, con lo que cada parcela de tratamiento (100x100 metros) podría contener al menos 9 muestras. La resolución temporal para este producto es de 16 días, lo cual produce 23 imágenes anuales aproximadamente. A partir de estas imágenes se analizan variables relacionadas con el balance de carbono (índice de vegetación), el balance hídrico (índice de contenido de agua) y el balance de energía (Albedo y temperatura superficial). Para cada imagen disponible en la serie temporal se calculan, usando una aritmética simple con las bandas que contienen, diferentes índices que se relacionan estrechamente con variables biofísicas del ecosistema. Agrupando las imágenes por año hidrológico (o directamente promediando las imágenes disponibles de una misma fecha en distintos años) se genera una curva con la dinámica anual de la variable estudiada. De dicha curva se extraen dos tipos de descriptores o atributos: la media y el coeficiente de variación estacional que se relacionan con aspectos biofísicos clave.



Foto 10. Valor promedio del índice de vegetación NDVI durante el mes de Julio de 2020 en Sierra Nevada. Los datos provienen de la colección de imágenes de satélite Landsat 8.



06

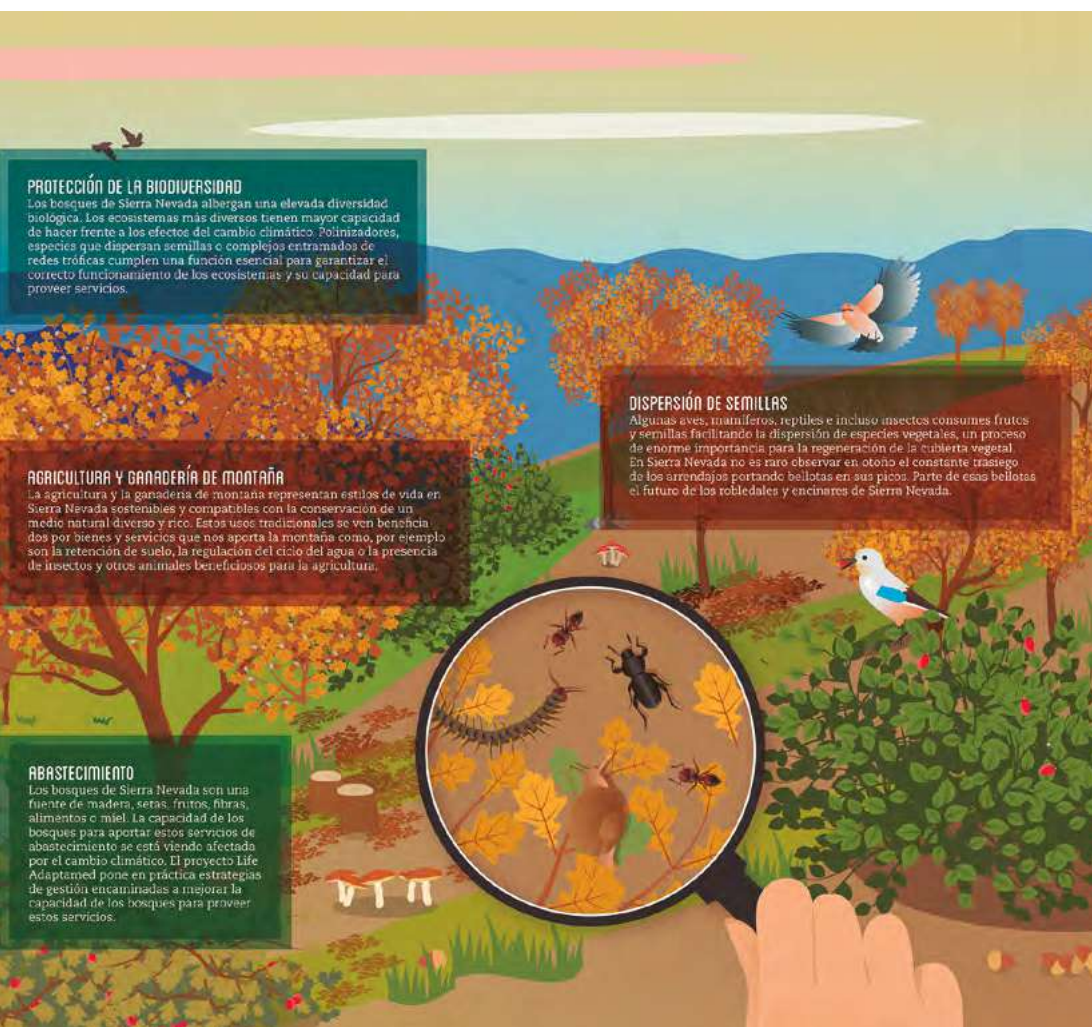
PROVISIÓN DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS DE LOS
MELOJARES DE
Quercus pyrenaica

Los ecosistemas forestales proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos como la producción de madera, el almacenamiento de carbono, la regulación del clima local, la formación del suelo, la producción primaria y el reciclaje de nutrientes, entre otros. Los robledales proveen además muchos servicios culturales relacionados con la experiencia y el esparcimiento en la naturaleza. Dentro del proyecto LIFE ADAPTAMED hemos llevado a cabo una revisión genérica de los servicios ecosistémicos de esta formación (Fig. 12) para seguidamente evaluar de forma detallada la provisión estos servicios, particularmente en los robledales situados en el límite sur de su distribución.



Presentamos a continuación una recopilación de los servicios ecosistémicos que aportan los robledales, clasificados en servicios de aprovisionamiento, regulación y culturales. La identificación y evaluación de los servicios ecosistémicos se realizó mediante una exhaustiva revisión de bibliografía, tanto de literatura científica como de programas y planes de gestión. En todos los casos en los que fue posible, se utilizó información procedente de los robledales de Sierra Nevada (siempre que existiera dicha información).

Figura 12. Servicios ecosistémicos aportados por el robledal de Sierra Nevada



6.1. SERVICIOS DE REGULACIÓN

Regulación de la temperatura del suelo

La temperatura del suelo es uno de los principales factores que afecta a la germinación de las semillas, crecimiento y desarrollo de las plantas, y es incluso más importante que la temperatura del aire, ya que puede limitar la formación de las raíces ¹⁰³. Los melojares, gracias al carácter marcescente de *Q. pyrenaica*, presentan durante una parte del año una capa de hojarasca en el suelo. Esta acumulación de hojarasca puede tener un efecto positivo en el establecimiento de las plántulas ¹⁰⁴, ya que actúa como aislante térmico disminuyendo los daños por congelación en las semillas de roble ^{105,106}. Este efecto tampón puede además ser importante una vez iniciada la germinación, puesto que las temperaturas negativas pueden suspender el proceso y dañar la radícula y el epicótilo ¹⁰⁷. Sin embargo, si la acumulación de hojarasca sobrepasa un determinado umbral, prevalecen efectos negativos en la germinación y establecimiento de semillas (*p.e.* proliferación de patógenos; dificultades de enraizamiento, efectos alelopáticos) ^{104,108}.

Por otro lado, la cubierta forestal del robledal puede actuar amortiguando las temperaturas extremas registradas en el periodo estival. Así por ejemplo utilizando datos de una red de sensores desplegados en una zona de robledal de Sierra Nevada ¹⁰⁹, se ha comprobado como la temperatura en el interior del robledal puede llegar a variar hasta 15° centígrados con respecto a la registrada en zonas de claros, en los días de máxima temperatura del periodo estival (Fig.13). Esta amortiguación alivia el estrés hídrico al que están sometidas estas formaciones en verano.

Secuestro de carbono

El secuestro de carbono es uno de los servicios ecosistémicos más relevantes que proporcionan los bosques mediterráneos ^{110,111}. El stock de carbono puede asumirse como un indicador de la capacidad de los ecosistemas para contribuir a la regulación del clima debido a su potencial para influir en la concentración de CO₂ atmosférico ^{112,113}. Los bosques mediterráneos representan un sumidero de carbono que se espera que aumente en las próximas décadas ^{114,115}.

Combinando información procedente de teledetección LIDAR (*Light Detection And Ranging*) junto con información de diferentes inventarios forestales, se ha

estimado la biomasa forestal existente en los robledales de Sierra Nevada, y se ha generado una cartografía de biomasa y el potencial de secuestro de carbono que presentan estas formaciones¹¹⁶ (Fig. 14). La biomasa total estimada (aérea y subterránea) existente en los bosques de *Q. pyrenaica* de Sierra Nevada asciende a 9.94 Tg (1 Tg = 1012 g), lo que representa un secuestro potencial de CO₂ de 17.33 Tg.

Figura 13. Evolución horaria de las temperaturas durante un día de máxima temperatura en verano en un robledal de Sierra Nevada ¹⁰⁹.

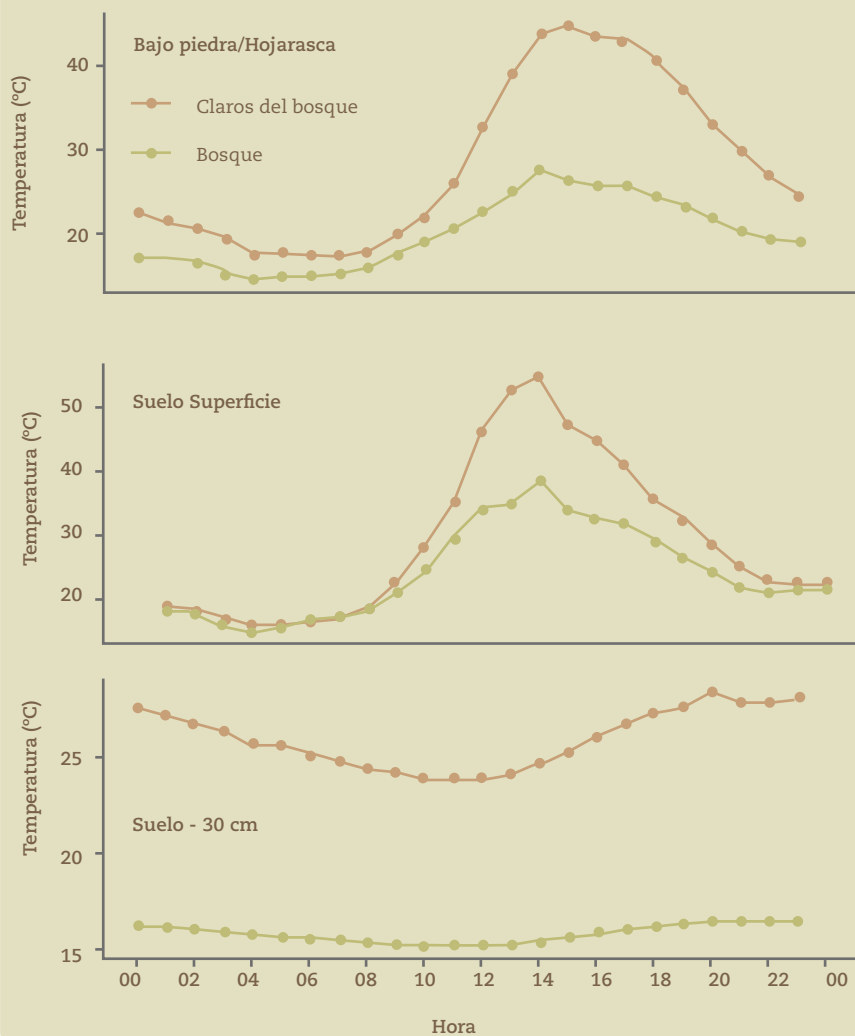
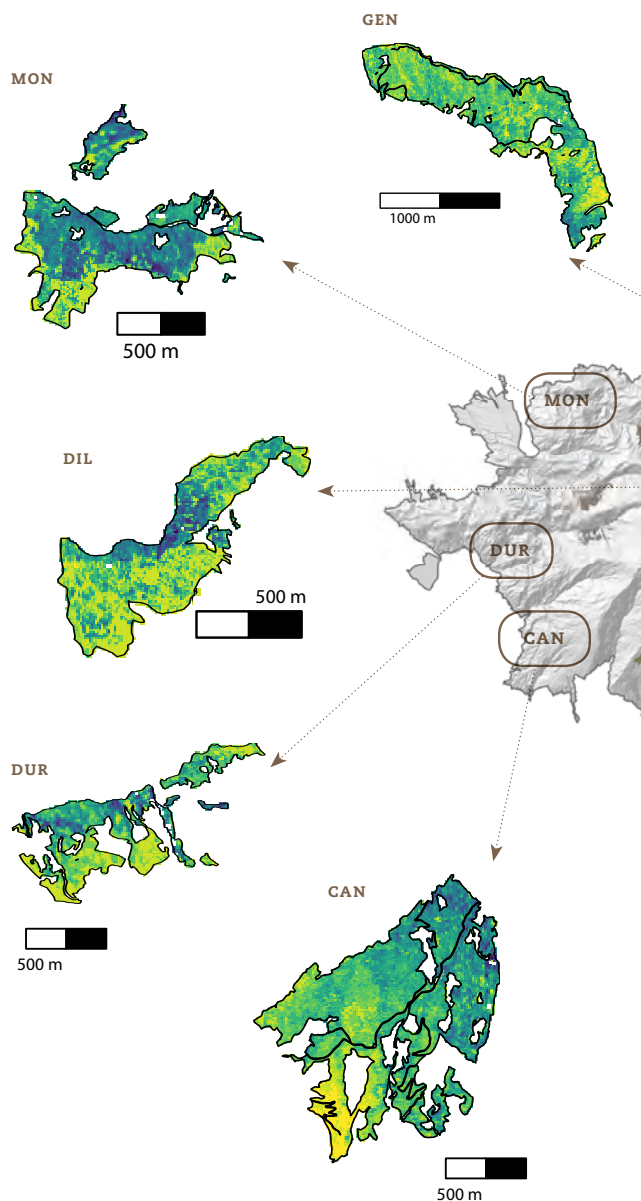
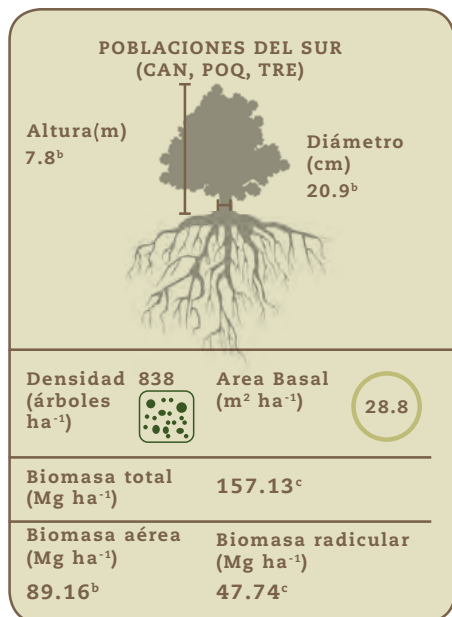
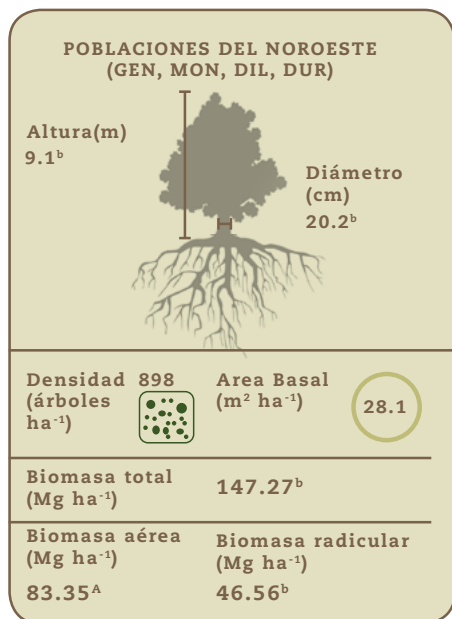
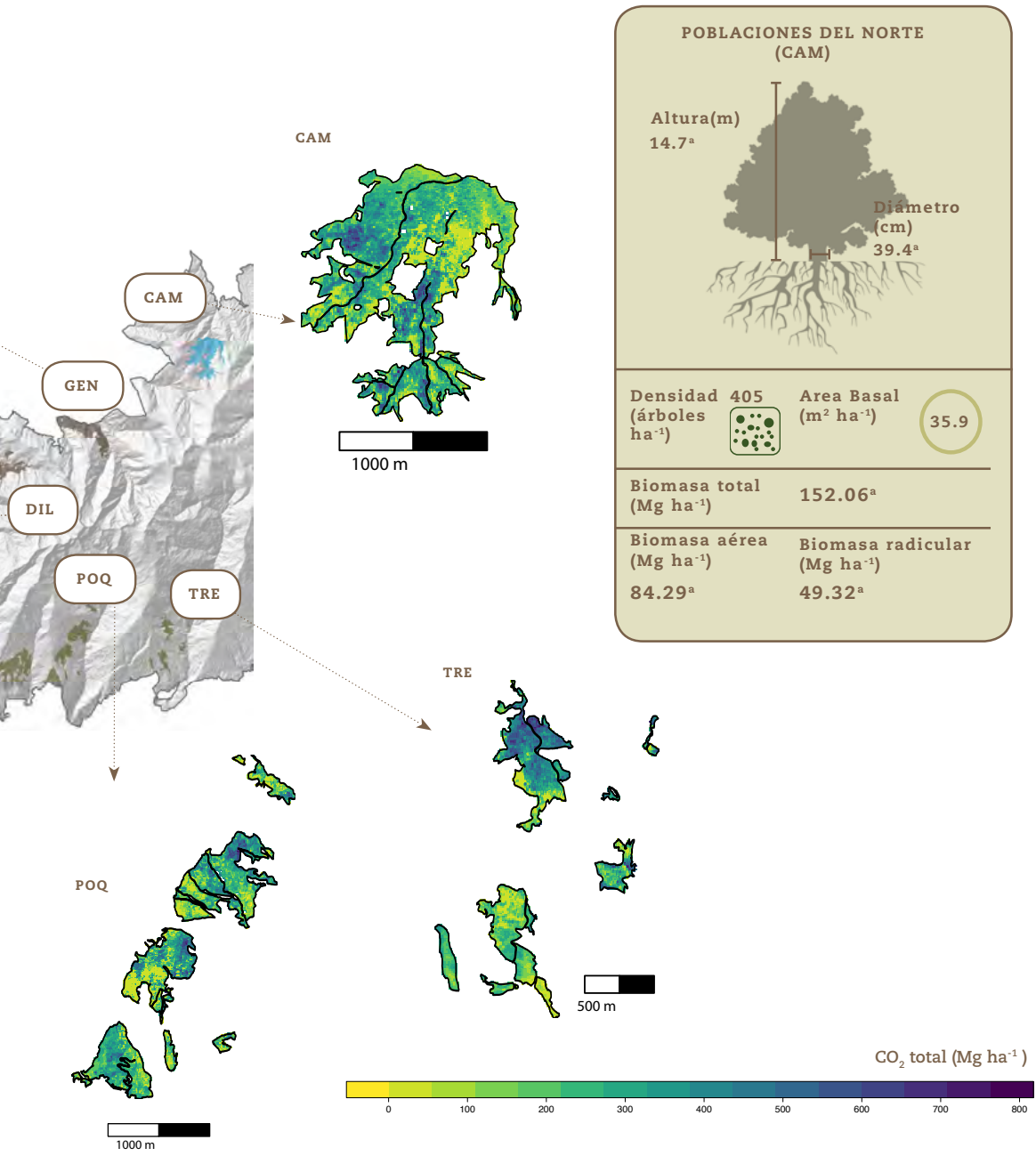


Figura 14. Secuestro potencial de carbono (Mg ha^{-1}) para cada una de las ocho poblaciones de roble melojo de Sierra Nevada. Comparación de la estructura forestal y de las fracciones de biomasa estimadas con LIDAR entre los grupos de poblaciones de roble melojo en Sierra Nevada. La distribución de los grupos de robles se muestra en la parte superior derecha. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre los clusters de robles ¹¹⁶.





Control de la erosión

La cubierta forestal se considera como un servicio de regulación, debido a su papel en la reducción del impacto erosivo de las precipitaciones (foto 11)¹¹⁷. El sistema radical de esta especie consta de dos tipos bien diferenciados ¹¹⁸. Por un lado está la raíz principal, característica del género, que permite un potente anclaje al terreno. Por otra parte, aparece un estrato de raíces próximas a la superficie del suelo y paralelas a la misma, capaces de emitir una gran cantidad de brotes que forman un denso entramado (foto 12). Se trata de sistemas radiculares que ayudan a mantener la integridad del suelo preservando deslizamientos ^{119,120}.

La extraordinaria capacidad de rebrote, tanto de cepa como de raíz, que presenta *Q. pyrenaica*, le confiere ventajas funcionales frente a otras especies, como puede ser la respuesta frente a perturbaciones (p.e. incendios) sobre todo en zonas con pendiente ^{57,101}. La profusión de rebrotes le permite mantener eficazmente el suelo en las zonas montañosas, reduciendo el impacto de los procesos erosivos y de pérdida de suelo ¹²¹, un servicio ecosistémico de regulación importante.



Foto 11. El suelo juega un papel esencial a la hora de modular numerosos procesos ecológicos en el robledal

Carbono orgánico del suelo

El carbono orgánico del suelo, constituye el principal componente de la materia orgánica del suelo, siendo de vital importancia para muchos procesos del suelo. Por ejemplo, el contenido de carbono orgánico del suelo está positivamente correlacionado con la fertilidad del suelo. Aunque existen algunos trabajos que han reportado la cantidad de carbono orgánico de suelos en localizaciones puntuales de Sierra Nevada ^{122,123}, no se ha llevado a cabo una valoración robusta con datos de campo de este recurso en los ecosistemas nevadenses. No obstante, existen herramientas de modelización, como por ejemplo SoilGrid ¹²⁴, que proporcionan estimaciones espacializadas de los valores de diferentes variables del suelo con una resolución de 250 m. A partir de esta información se ha generado una estimación del contenido medio de carbono orgánico del suelo en una profundidad de 0-30 cm. Los suelos de Sierra Nevada presentan un contenido medio de 51.8 ton ha⁻¹ (20 - 80 ton ha⁻¹), mientras que los robledales presentan un valor medio de 53.5 ton ha⁻¹ (45 - 67 ton ha⁻¹), siendo las poblaciones de la cara sur, las que presenta unos valores significativamente mayores.

Foto 12. Estructura del sistema radicular de varios ejemplares de *Q. pyrenaica*



6.2. SERVICIOS DE PROVISIÓN Y SOPORTE

Biodiversidad

Los melojares de Sierra Nevada son ecosistemas que albergan numerosos valores naturales y son especialmente importantes como proveedores de hábitats para otras especies. Los melojares presentan un alto valor de singularidad fitosociológica ²⁷, albergando una gran riqueza de especies vegetales (Anexo 2). En comparación con las formaciones arbóreas presentes en Sierra Nevada, los melojares muestran una mayor diversidad de especies vegetales ^{28,29}, a pesar de que tan solo representan menos del 7% de la superficie forestal del macizo montañoso.

Un aspecto importante de este ecosistema es que alberga especies vegetales catalogadas bajo diferentes categorías de amenaza ^{50,125,126}. Así, encontramos algunas consideradas en peligro crítico (CR), como el mostajo híbrido (*Sorbus hybrida* L.); en peligro (EN) como el sauce cabruno (*Salix caprea* L.); vulnerables (VU) como el acebo (*Ilex aquifolium* L.) y el tejo (*Taxus baccata* L.); y otras con menor grado de amenaza (NT) como el serbal (*Sorbus aria* (L.) Crantz) o el arce granadino (*Acer opalus subsp. granatense* (Boiss.) Font Quer & Rothm.). Muchas de estas especies se consideran especies relicticas que encuentran en los robledales de Sierra Nevada unas condiciones microclimáticas favorables, lo cual hace de estos ecosistemas un refugio para ellas ^{30,50,125}.

Respecto a la comunidad fúngica asociada a esta formación, aunque no existen estudios específicos para el melojar en Sierra Nevada, se ha puesto de manifiesto la riqueza fúngica existente en este ecosistema a nivel regional y de la Península Ibérica. En una exhaustiva revisión sobre la diversidad de macromicetos formadores de micorrizas en los bosques de *Quercus* de la Península Ibérica se ha reflejado la existencia de 174 especies para las formaciones de *Quercus pyrenaica* ¹²⁷, de las cuales 5 se incluyen en la Lista Roja de los Hongos a Proteger de la Península Ibérica. Por otro lado, en el Inventario Micológico Básico de Andalucía ¹²⁸, se registraron 214 entradas pertenecientes a 149 taxones de hongos bajo el hábitat de *Quercus pyrenaica*.



Foto 13. Diversidad fúngica presente en los robledales. a) *Lycoperdon* sp. b) *Crucibulum laeve*. c) *Russula cyanoxantha*

Varios trabajos han analizado la diversidad microbiana existente en los suelos de algunos robledales de Sierra Nevada^{122,123}, destacando que la comunidad microbiótica de esta formación está dominada por unos pocos taxones muy abundantes.

Finalmente, y respecto a la diversidad genética, tradicionalmente se ha asumido que los melojares tenían una variabilidad genética escasa, a causa principalmente de la excesiva competencia del rebrote y del agotamiento de las cepas, derivados del aprovechamiento continuado durante siglos en monte bajo^{86,94}. Sin embargo los resultados de varios trabajos han permitido descartar la existencia de bajos niveles de diversidad genética en los melojares^{13,58,91,101}. La elevada diversidad genética observada para las poblaciones de Sierra Nevada pone de manifiesto la importancia de la conservación de las poblaciones de esta especie, que en esta región montañosa se encuentran en el límite meridional de su distribución, actuando como reservorios genéticos de la especie.

Setas

Los recursos micológicos presentan una elevada importancia ecológica, social y recreativa así como económica, lo que contribuye a incrementar el valor activo ambiental público de los montes ¹³¹. Los datos sobre producción de setas y su aprovechamiento son escasos, dispersos y heterogéneos, aunque existen varias iniciativas que han realizado una primera valoración de este recurso a nivel Andaluz (p.e. la iniciativa RECAMAN.) Asimismo, dentro del Plan CUSSTA (*Plan de Conservación y Uso Sostenible de Setas y Trufas de Andalucía*), se están realizando muestreos micológicos periódicos para conocer la producción de especies comercializables en diversas formaciones arbóreas de Andalucía ¹³². Las principales especies comercializables encontradas en el robledal son: *Amanita caesarea*, *Boletus aereus*, *Cantharellus subpruinus*, *Hydnum rufescens*, *Lepista nuda*, *Macrolepiota procera* y *Russula cyanoxantha*.

Otros aprovechamientos

El roble presenta una alta riqueza en taninos (el 8 % de corteza y entre un 2-10 % de la madera corresponde a taninos), por lo que se ha utilizado como curtiente para cueros, especialmente la corteza ¹³³. Los robles tienen capacidad para emitir compuestos orgánicos volátiles, que además de otorgar el característico sabor a los vinos, actúan como atrayentes para diferentes insectos. En el melojo se han identificado más de 50 compuestos orgánicos volátiles pertenecientes a 12 clases químicas diferentes ¹³⁴, cuya composición es similar a los que producen las principales especies de robles utilizados en el envejecimiento del vino, como el roble americano (*Q. alba*) o el roble francés (*Q. petraea*) ¹³⁵. Varios trabajos han puesto de manifiesto el potencial uso de la madera (y de sus derivados) del roble melojo (*Q. pyrenaica*) para el envejecimiento de los vinos, que no se había utilizado con anterioridad en tonelería (Foto 14) ¹³⁶⁻¹⁴⁰.



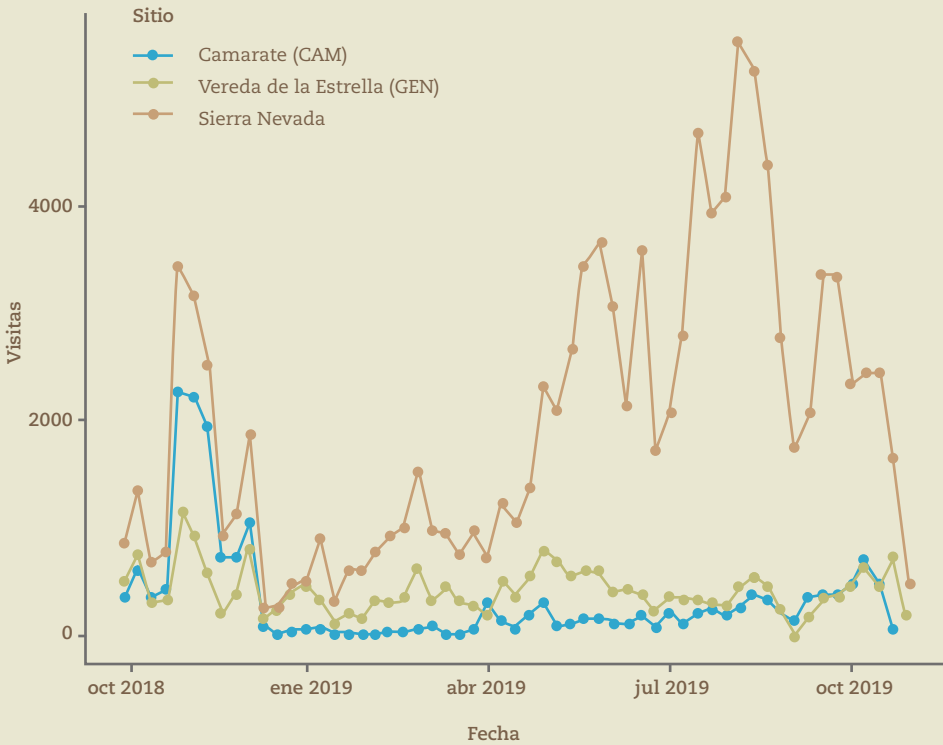
Foto 14. Barrica de roble melojo para el envejecimiento de vinos

6.3. SERVICIOS CULTURALES

Actividades recreativas

Una forma de estimar la provisión de este tipo de servicio ecosistémico es emplear métricas derivadas de las visitas a los espacios naturales protegidos¹³⁰. Utilizando datos de sensores piroeléctricos instalados para monitorizar la afluencia de visitantes en diferentes puntos estratégicos de Sierra Nevada, hemos analizado la evolución temporal de las visitas (octubre 2018 - octubre 2019) que reciben dos de los robledales de Sierra Nevada para los que existen datos: La Dehesa del Camarate (conocido popularmente como Bosque Encantando, en Lugros, Granada) y la Vereda de la Estrella (Güejar-Sierra, Granada) (Fig. 15). Se puede observar como durante el otoño, la mayor parte del total de visitas contabilizadas por los sensores instalados en Sierra Nevada, proceden de las visitas recibidas por los robledales, sobre todo por la Dehesa del Camarate.

Figura 15. Comparación del número de visitantes en la Dehesa del Camarate (rojo), Vereda de la Estrella (Verde) y en el total Sierra Nevada (azul). Los datos proceden de contadores automáticos de paso (sensores piroeléctricos) localizados en diferentes puntos de Sierra Nevada.



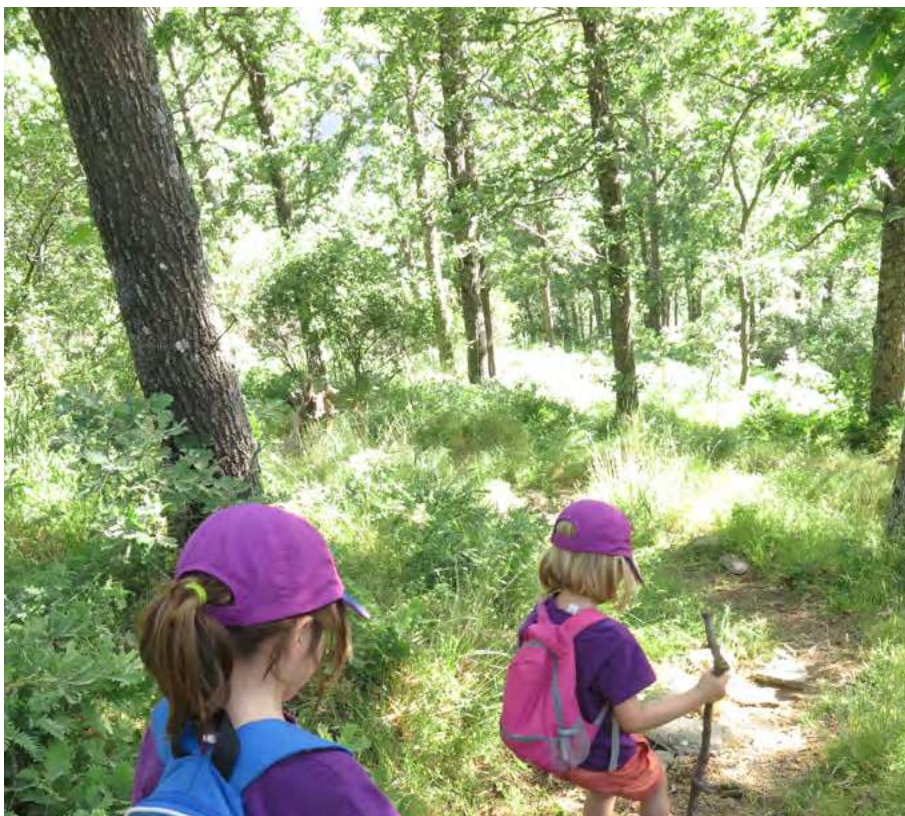


Foto 15. Los robledales de Sierra Nevada concentran buena parte del uso público de la media montaña nevadense

Actividades recreativas deportivas

Una forma de analizar la utilización física del paisaje, y por tanto su valor como proveedor de un servicio ecosistémico cultural, consiste en la estimación de las actividades recreativas realizadas en la naturaleza ¹⁴¹. Para ello utilizamos la densidad de rutas (senderismo, bici, running y otros tipos de actividades al aire libre) existentes en el portal Wikiloc (www.wikiloc.com) (consulta realizada en Enero de 2020) para todos los municipios pertenecientes al Espacio Natural de Sierra Nevada. Para cada municipio se calculó el total de rutas y la densidad (número de rutas/superficie del municipio). Cada una de las poblaciones de robledal se asignaron a los municipios en los que están presentes.

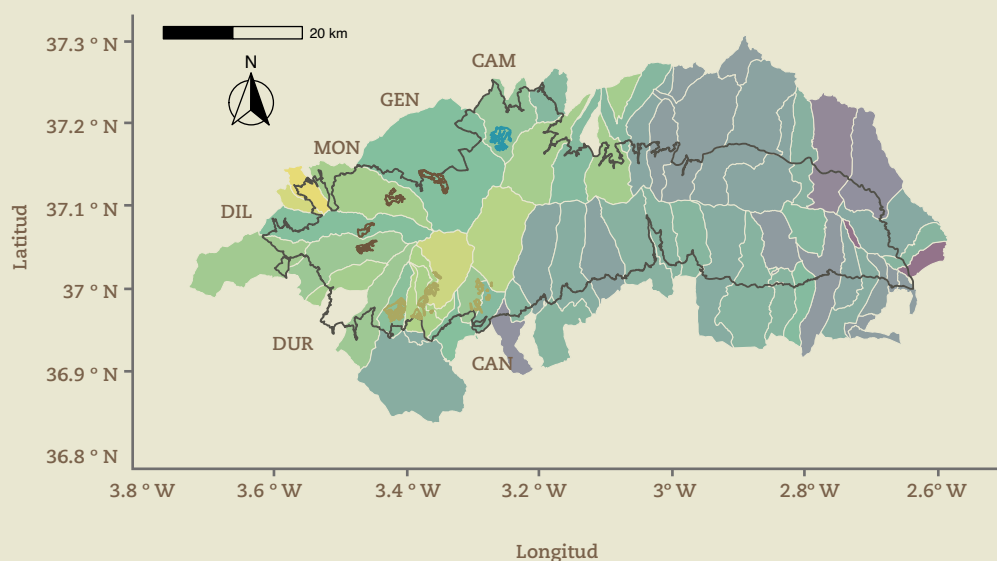
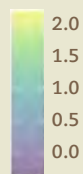


Foto 16. Uso recreativo en los robledales de Sierra Nevada

De las 47998 rutas obtenidas para el conjunto de Sierra Nevada, un 49.94 % se realizaron en los 14 municipios en los que están presentes los robledales. La densidad de rutas en estos municipios varió entre 5.24 - 41.8 rutas / km² siendo para la mayoría muy superior a la densidad de rutas promedio de los municipios de Sierra Nevada (17.88 rutas / km²). En términos absolutos, los municipios de la Alpujarra son los que mayor cantidad de rutas presentan.

Figura 16. Densidad de rutas de Wikiloc para los municipios de Sierra Nevada (Datos de Enero de 2020. Se muestran datos en escala Logarítmica)

Log (N° rutas / km²)



Población	CAM	GEN	MON	DIL	DUR	CAN	POQ	TRE
Densidad (rutas/km ²)	18.51	13.79	35.63	14.22	24.36	32.48	52.77	29.89
Rutas totales	1170	3290	3170	1140	1870	555	1491	1908

Conocimiento científico

Para estimar este servicio cultural se ha recopilado el conocimiento científico sobre los robledales de Sierra Nevada (ver referencias bibliográficas). Para ello se ha realizado una búsqueda de publicaciones científicas en diferentes bases de datos nacionales e internacionales (ver apartado de referencia biográficas).

Además, para determinar la importancia de los melojares en la provisión del servicio ecosistémico de conocimiento científico, se han utilizado otros indicadores relacionados con la actividad de investigación. En concreto se ha explorado la localización espacial de actividades de investigación realizadas en Sierra Nevada procedente de una recopilación de los proyectos de investigación llevados a cabo durante el período 2009-2013 ¹⁶. Los resultados muestran que los robledales presentan una zona de alta densidad de actividad científica en comparación con los otros ecosistemas de Sierra Nevada.

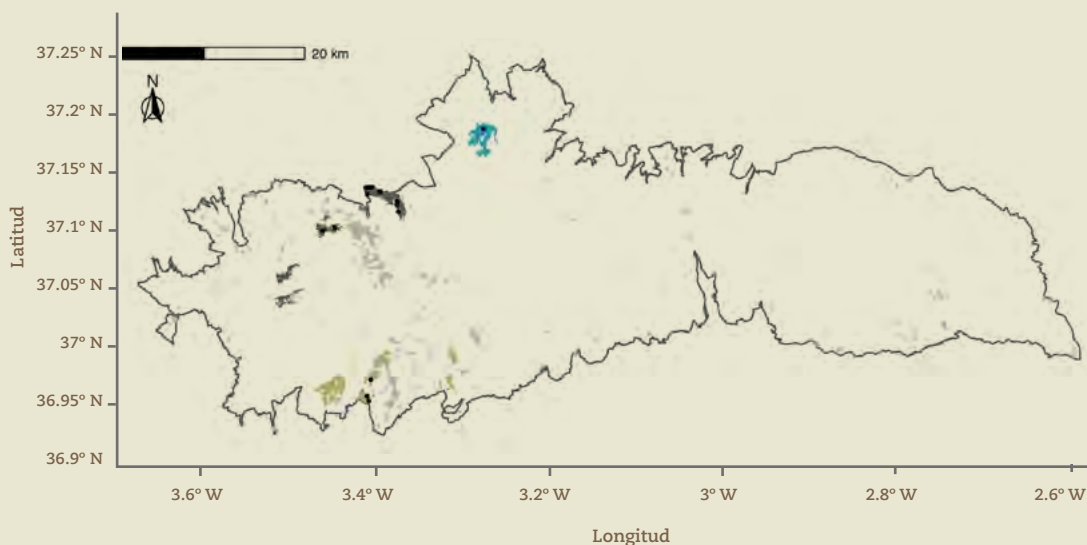


Foto 17. Estación multiparamétrica de Cáñar/Soportujar

Valores estéticos

Usando datos de la plataforma Flickr (www.flickr.com) se han analizado los servicios culturales ofrecidos en Sierra Nevada¹⁴²⁻¹⁴⁴. Del total de 778 fotografías analizadas, 18 están geolocalizadas en robledales (Fig. 18). Esta cifra es baja respecto del total del conjunto de fotografías analizadas, debido principalmente a que la mayor densidad de fotos de este conjunto de datos se localiza en torno a la estación de esquí y a las zonas de los pueblos (principalmente las Alpujarras). Asimismo, cuando exploramos los diversos ecosistemas en los que se localizan las fotos observamos una mayor concentración de éstas en las zonas de altas cumbres. Finalmente, si nos fijamos exclusivamente en los ecosistemas forestales (pinos autóctonos, encinares, robledales y pinares de repoblación) las fotos realizadas dentro de los robledales representan un 32 % del total.

Figura 18. Ubicación de fotos realizadas en Sierra Nevada subidas a la plataforma Flickr (n = 778). Los puntos negros indican las fotos localizadas en robledales ¹⁴⁴



Valores espirituales - Árboles singulares

Los árboles singulares y/o monumentales, además de desempeñar funciones ecológicas clave (p.e. ciclo de nutrientes; soporte de conjuntos complejos de especies), son acreedores de valor natural *per se* y se consideran parte de un ámbito social, proporcionando numerosos beneficios socioculturales a la sociedad ¹⁴⁵⁻¹⁴⁸.

Existen diferentes ejemplares de *Q. pyrenaica* en Sierra Nevada considerados singulares y/o monumentales por sus extraordinarias dimensiones¹⁴⁹, alcanzando alturas de hasta 19.5 metros y un perímetro en la base de 6.7 metros. Se localizan en diferentes parajes del término municipal de Busquístar. Asimismo existen ejemplares de otras especies localizados en el entorno de algunas po-



Foto 19. Vista de un cultivo en las proximidades del robledal de Cáñar

blaciones de roble que añaden un valor ecosistémico a estas poblaciones, ya que estos ejemplares son visitados por senderistas. Por ejemplo, en la Vereda de la Estrella (Güejar Sierra) existen ejemplares majestuosos de castaño (*Castanea sativa*) destacando el conocido como “El Abuelo” con más de 20 m de altura y un perímetro en la base de 10.7 m. Asimismo, existen algunos melojares en Sierra Nevada que albergan ejemplares y/o arboledas singulares de otras especies. Tal es el caso del Abedular del Barranco de los Alisos, localizado en la población de melojo de Dúrcal ¹⁵⁰. Se trata de un pequeño bosque de unos 300 ejemplares de abedul (*Betula pendula* subsp. *fontqueri*) con una altura media de 12 m. Otro ejemplo es la arboleda de la Aliseda de la Cueva del Santo, donde existen más de 100 alisos (*Alnus glutinosa*) acompañados por robles melojos y castaños ¹⁴⁹.

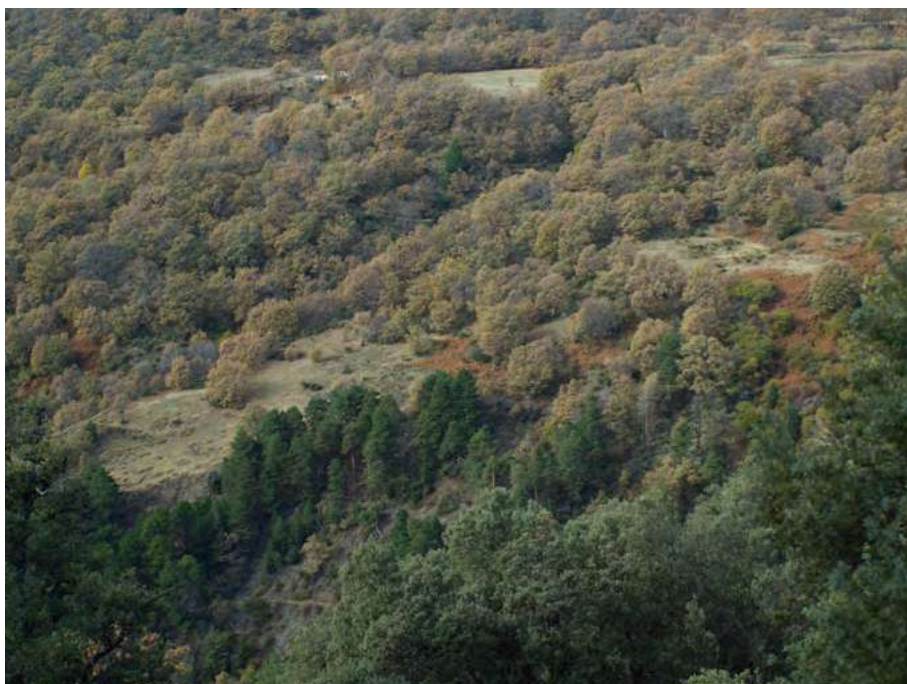


Foto 20. El robledal en algunas localizaciones se mezcla con otras especies arbóreas y alberga algunas consideradas relictas



07

DISEÑO DE ACTUACIONES Y/O
BUENAS PRÁCTICAS PARA LA
GESTIÓN DEL ROBLEDAL EN
SIERRA NEVADA

En este manual proponemos una selvicultura sobre los robledales que aúne criterios técnico-científicos, experiencias y una coherencia territorial. Esto se concreta en un manejo que sea capaz de favorecer la adaptación de estos ecosistemas forestales en un escenario de cambio global, buscando tres objetivos:

1. Garantizar su funcionalidad
2. Incrementar su resiliencia
3. Garantizar la provisión de bienes y servicios

Partimos de la hipótesis de que los robledales se tienen que adaptar a los nuevos escenarios de cambio climático, en un contexto de abandono de los usos tradicionales. Para favorecer la adaptación de los robledales al cambio climático proponemos una selvicultura **enfocada al incremento de la heterogeneidad y la diversidad del robledal** como clave para conseguir los objetivos buscados.

Los robledales son sistemas complejos con una alta capacidad de autoorganizarse. Una selvicultura abierta y próxima a la naturaleza favorece esta potencialidad intrínseca mediante respuestas adaptativas y resulta clave para que estos ecosistemas forestales sean menos vulnerables.

La heterogeneidad del robledal hay que entenderla en sentido amplio para aplicar una selvicultura eficaz. Heterogeneidad en los robledales implica diversidad de edades, de estructuras y tipos de reproducción, pero también diversidad de especies presentes, de microhábitats, de usos compatibles, siendo necesario una estrategia de gestión que busca la provisión de servicios ecosistémicos múltiples del robledal.

Esto exige en buena parte renunciar al uso de criterios de la selvicultura clásica enfocados a favorecer un tipo determinado de masa, de estructura, de composición de edades, e incluso obliga a dejar abiertos en el tiempo los aprovechamientos, cortas o labores, dando al ecosistema la oportunidad de evolucionar

129

Para todo ello proponemos un manejo forestal basado en planes de resalveo (corta de brotes) selectivos con claras de rejuvenecimiento por lo bajo, enfocados a la renovación parcial de la masa y al rejuvenecimiento de brotes. Asimismo, puesto que la estructura y el funcionamiento de los robledales está condicionado por el impacto antrópico al que han estado sometidos ^{12,56}, sugerimos además utilizar la información histórica disponible de cada uno de los sitios para poder orientar las actuaciones de gestión. Este manejo posibilita la



selección y reserva de los mejores brotes para la producción de fruto. Paralelamente proponemos la realización de cortas de policía y sanitarias sobre los puntisecos y peor formados. Las intensidades de ambas labores no deben ser homogéneas en todos los rodales, pues precisamente así se puede conseguir una mayor heterogeneidad estructural y una transformación parcial a monte alto, consiguiendo un regenerado (brinzales) con mayores opciones de progreso.

En todo caso, con las actuaciones selvícolas se debe promover la creación de claros en el monte (cortas por bosquetes), favoreciendo así una disposición de masa de robledal en manchas o bosquetes, adaptada de manera óptima a las condiciones favorables de humedad, suelo, exposición y topografía. Los mosaicos forestales cumplen eficazmente con la función protectora, incrementando los índices de diversidad y facilitando otros usos pastorales y recreativos.

De igual manera debe proveerse una selvicultura que potencie masas mixtas, en robledales mediterráneos de *Quercus pyrenaica* funcionan bien con encina (*Quercus ilex*), con pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y con pino salgareño (*Pinus nigra*), en este caso siempre que las condiciones de suelo lo permitan. Los robledales en Sierra Nevada también conviven bien en masa mezclados con cerezos, mostajos, arces, fresnos, sauces y tejos. La resiliencia de las masas forestales mixtas es un elemento bien conocido y constituye una opción recomendable.

En definitiva, promovemos mediante actuaciones de manejo unos robledales (*Quercus pyrenaica*) más complejos estructuralmente y más diversos en composición específica, que al ser menos vulnerables tienen mayor capacidad de adaptarse a un futuro incierto y de proveer bienes y servicios.



08

**LECCIONES APRENDIDAS
DEL PROYECTO LIFE Y
RECOMENDACIONES DE GESTIÓN**

A modo de conclusión, proponemos una serie de actuaciones orientadas a aumentar la capacidad de adaptación de los robledales de *Quercus pyrenaica* a las condiciones actuales y futuras conforme a los escenarios previstos, para proteger los importantes servicios ecosistémicos que proporcionan estas formaciones. Un aspecto esencial a incorporar en la planificación de las actuaciones de gestión es la incertidumbre inherente al cambio global ¹⁵⁴, considerando además que estas actuaciones no han de orientarse para perpetuar los sistemas actuales, sino para aumentar la multifuncionalidad de estos ecosistemas forestales, fomentando su capacidad de resiliencia y la provisión de múltiples servicios ecosistémicos ¹⁵⁵.

Si queremos asegurar el futuro de los melojares, no sólo tendremos que gestionarlos activamente, sino que lo tendremos que hacer bajo criterios de sostenibilidad, facilitando su adaptación a las nuevas condiciones ¹⁵⁶. Por ejemplo, bajo el supuesto de una mayor frecuencia de las condiciones de sequía, un robleal menos denso (con menos pies por hectárea) será más resistente, puesto que los árboles y las plantas competirán menos entre sí por un recurso como el agua. En cambio, para aumentar la resiliencia de estas formaciones será necesario hacer una gestión que favorezca la biodiversidad, tanto interespecífica como intraespecífica. El planteamiento de medidas de adaptación es obligado, pero sin perder de vista que la situación de muchos robledales es fruto, no solo de los cambios en el clima, sino también de los cambios antrópicos ¹² y de sus interacciones ¹.

Un primer paso a la hora de planificar las actuaciones de gestión es la identificación y evaluación, con el máximo rigor posible, de los diferentes impactos derivados del cambio global en los robledales ¹⁵⁶. Especialmente es importante atender a:

- **Sequías:** evaluar cómo la sequía está afectando al crecimiento, producción y supervivencia de las masas. Para el caso de los robledales de Sierra Nevada, hemos observado que debido a su localización presentan una alta resiliencia a los eventos de sequía ¹².
- **Incendios:** el abandono de las masas de robleal aumenta el riesgo de incendio, debido a la acumulación de biomasa horizontal, que es especialmente importante en esta especie gracias a su excelente capacidad de rebrote. Además, el fomento de las actividades recreativas (servicios culturales) puede contribuir a aumentar el riesgo de incendios provocados.

- **Aumento de plagas y enfermedades emergentes.** Muchas masas forestales pueden verse afectadas por la proliferación de plagas y enfermedades a causa del aumento de las temperaturas. Identificar las comunidades de defoliadores e insectos gallícolas del robleal es un paso clave para evaluar el estado sanitario de la masa.
- **Cambios fenológicos.** Diferentes procesos ecológicos están modificando su fenología a causa del aumento de la temperatura. Es importante conocer los cambios en la fenología de floración y fructificación de los melojares para poder diagnosticar su capacidad reproductiva, y por tanto su potencial de regeneración.
- **Cambios en la composición de las comunidades.** Las comunidades florísticas y faunísticas asociadas a los robleales de *Quercus pyrenaica* cambian según las calidades de estación, el estado de desarrollo y la evolución de las masas, constituyendo, por lo general, un refugio para gran cantidad de especies de flora y fauna. Identificar posibles cambios es determinante para la gestión de estas formaciones.

Seguidamente es importante analizar el estado de la masa en términos de la provisión de servicios ecosistémicos. Como se ha apuntado en el capítulo 6, la masa forestal resultante debe proporcionar una cubierta adecuada, que no albergue claros excesivamente grandes (dentro de los cuales no podrá regenerar el roble por necesitar sus plántulas sombra para prosperar), pero sin que tenga tampoco una densidad excesiva que le reste vitalidad debido a la competencia entre los pies, y además aumente el riesgo de incendio.

Por otro lado se fomentará el papel como **sumidero de carbono** que juegan los robleales. Para ello se intentará mantener una biomasa adecuada, tanto del vuelo como del suelo, mediante el aumento del área basimétrica de la masa con el menor número de ejemplares posibles. Así, a modo indicativo se recomiendan densidades finales entre 400-900 pies/ha contribuyendo a un área basimétrica entre 28-36 m²/ha. Densidades bajas (cerca de 500 pies/ha) con áreas basimétricas altas (por encima de 30 o 35 m²/ha), que podrían corresponderse con un monte alto, pueden implicar mayor probabilidad de que ocurra regeneración por semilla, que a su vez aumentaría la resiliencia de la masa a largo plazo. Por ello, las actuaciones deberán ir encaminadas a disminuir la competencia de los pies y favorecer el crecimiento de los ejemplares que se reservan, buscando su máximo vigor vegetativo y salud ^{86,93}.

Aunque tradicionalmente se ha considerado que un robleal en monte alto (cuyos ejemplares proceden de semilla) presenta una mayor resistencia a perturbaciones y una mayor capacidad de producción de bellota que un robleal en monte bajo (formado por pies procedentes de brotes de cepa y/o raíz)^{94,157}, no debemos olvidar que en zonas con fuertes pendientes o con riesgo de erosión, los montes bajos aportan un importante servicio de regulación de la erosión, pues los rebrotes de melojo y el complejo entramado de raíces con las que se ancla al terreno son tremendamente eficaces impidiendo las pérdidas de suelo, además de permitir una rápida capacidad de respuesta frente a perturbaciones (p.e. incendios).

Por tanto, el objetivo no debe ser tanto buscar un único tipo de masa como orientar las actuaciones en función de las características concretas de cada rodal (pendiente, tipo de suelo, condiciones climáticas, altitud, etc), buscando la optimización de los servicios que el robleal proporcione. Eso puede traducirse en promover la conversión a monte alto con carácter general en aquellas localidades donde las condiciones sean favorables para ello (suelos profundos y estables, poca pendiente y sin exceso de carga ganadera o de ungulados silvestres que pueda impedir la posibilidad de regeneración por bellota). En otras localidades, donde el riesgo de pérdidas de suelo pueda ser mayor y las condiciones prevean un alto grado de perturbaciones, la combinación de la reproducción sexual y asexual puede ser recomendable y, por lo tanto, un monte medio formado por brinzales y chirpiales puede ser lo más aconsejable. Para ello deberán combinarse actuaciones de claras y resalveos.

En cualquier caso, se fomentará el mantenimiento de la **biodiversidad** del robleal. Así, al llevar a cabo las actuaciones selvícolas se procurará respetar al máximo posible las especies de flora acompañantes, particularmente la presencia de ejemplares de otras especies arbóreas (p.e. tejo, acebo, serbal, mostajos, arces, etc) así como otras especies arbustivas o herbáceas. Por todo ello se desaconseja realizar desbroces de matorral. Además es recomendable dejar algún elemento de madera muerta de grandes dimensiones tras la actuación, ya que durante los diferentes estados de descomposición, puede constituirse en hábitats de numerosos taxones que lo aprovechan directamente o lo utilizan como cobijo¹⁵⁸. Se ha comprobado que existe un enorme número de especies de hongos saproxílicos responsables del proceso de descomposición de la madera, líquenes y musgos, así como de insectos saproxílicos, que dependen directamente de la existencia de madera muerta¹⁵⁸. Por ello, en caso de producirse perturbaciones naturales como viento, aludes o incendios, se recomienda dejar los árboles caídos en el sitio. Si las masas forestales circundantes se encuentran

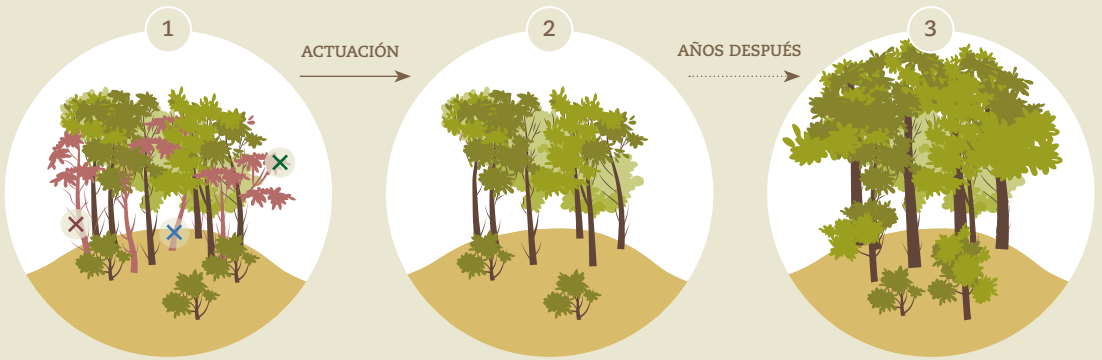
en buen estado esta madera muerta no debería representar un peligro para el estado sanitario del monte, ya que la mayor fracción de la diversidad de insectos saproxílicos no utiliza nunca la madera viva ¹⁵⁹.

Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, proponemos una selvicultura enfocada al incremento de la **heterogeneidad y la diversidad** del robledal mediante resalveos selectivos combinados con claras de rejuvenecimiento por lo bajo, enfocados a la renovación parcial de la masa y al rejuvenecimiento de brotes. A la hora de diseñar la actuación será fundamental utilizar la información histórica disponible, especialmente para seleccionar y reservar los mejores pies para la producción de fruto. Los resalveos se acompañarán de cortas de policía y sanitarias sobre los brotes puntisecos y peor formados. La intensidad de la actuación se adaptará a las características de cada rodal, favoreciéndose donde sea posible la formación de bosquetes y masas mixtas. En base a nuestra experiencia y a la de otros autores ^{83-84, 94,157}, rotaciones en torno a los 20 años pueden ser adecuadas para estos objetivos.

En cuanto a las **opciones para la gestión del residuo**, los resultados preliminares del proyecto Life Adaptamed indican que su eliminación “*in situ*” o mediante acordonamiento previo son alternativas adecuadas, ya que ambas favorecen la incorporación posterior de nutrientes al suelo y pueden proporcionar mayor variedad de microhábitats para la regeneración posterior de semillas. La opción de acordonar puede tener ventajas adicionales de cara al control de la erosión (en caso de realizarse los cordones siguiendo curvas de nivel), pero en la práctica las limitaciones que encuentra la maquinaria para desplazarse en terrenos escarpados obligan a realizar los cordones siguiendo líneas de máxima pendiente, de forma que éstos ya no contribuyen de manera significativa a minimizar la escorrentía, precisamente en los terrenos donde ésta puede ser más importante. Por otro lado, aunque el acordonado puede proporcionar mayor diversidad de microhábitats en comparación con los proporcionados cuando el residuo es picado *in situ* sin acordonar, los resultados preliminares no parecen justificar la diferencia de coste que la primera opción implica con respecto a la segunda (del orden de unos 500-900 €/ha dependiendo de la cantidad de residuo). En este sentido, la opción de distribuir los residuos de corta sin picar en pilas o montones aprovechando pequeños claros resulta la más económica de todas y en algunas situaciones puede ser una alternativa adecuada, siempre y cuando existan suficientes claros en la zona para asegurar que no se de continuidad de combustible. En caso contrario, el riesgo de incendio claramente haría desaconsejar esta opción.

En resumen, las actuaciones selvícolas irán orientadas a obtener una masa forestal madura y lo más resiliente posible frente al amplio abanico de perturbaciones al que puede enfrentarse en un escenario de cambio global (sequías, aumentos de la temperatura, mayor incidencia de plagas forestales, incendios, etc). Para ello, con carácter general, debe promoverse una alta diversidad espe-

Figura 20. Resalveos selectivos con claras de rejuvenecimiento por lo bajo, acompañados o no de podas y cortas sanitarias.



- ✗ Mediante el **resalveo**, en montes bajos de roble (con presencia simultánea de árboles procedentes de semilla y cepa o raíz), se extraen de forma selectiva brotes de la cepa dominados, torcidos o puntisecos, quedando los mejores brotes (resalvos) libres de competencia.
- ✗ Si además se acompaña de **cortas de policía o sanitarias** se eliminan los pies que estén muertos, mal situados, puntisecos o afectados por un insecto o un hongo patógeno, para que no sirvan como reservorio o fuente de posteriores infecciones.
- ✕ Puede ir o no acompañado de la **poda** de ramas de los pies que se dejan. Esta poda va orientada a eliminar ramas secas, dar forma al árbol y/o mejorar la producción de fruto.

cífica, pies reproductivos que no compitan entre sí y que puedan producir bellota, una distribución de edades de tipo irregular (donde coexistan diferentes cohortes), presencia de madera muerta gruesa, así como árboles con un buen vigor vegetativo y un estado fitosanitario adecuado.



INTENSIDAD DEL RESALVEO

¡Precaución! Esta es una cuestión delicada que debe ajustarse en función de la calidad de estación.

- Tras la reducción de espesura, la masa responde induciendo una **brotación**.
- Es perjudicial que la cantidad de brotes sea muy grande, por la competencia que suponen.
- La acción del pastoreo, producido por el ganado o las especies silvestres, es un importante aliado para evitar un exceso de rebrote.
- En ausencia de pastoreo, mantener una buena cobertura de resalvos que reduzca la iluminación sobre los brotes puede también retrasar su desarrollo.

GESTIÓN DEL RESIDUO

Las ramas finas y hojarasca procedentes del resalveo y de la poda se trituran para disminuir el tamaño de los restos (evitando así riesgo de incendios) y se dejan en el ecosistema. Así:

- Proporcionan sombra a plantas (regeneración) y a animales de pequeño tamaño.
- Aportan nutrientes al ecosistema.

AMENAZAS

Sequía

Incendios

Aumento de temperatura

Aumento de plagas y enfermedades emergentes

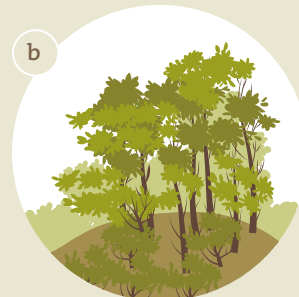
Incremento de deposición atmosférica

Aumento de eventos climáticos extremos

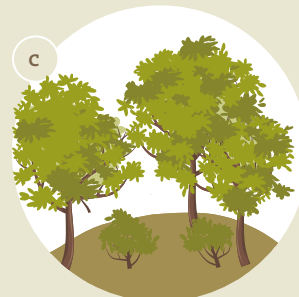
MONTE BAJO



MONTE MEDIO



MONTE ALTO





OBJETIVO

Aumentar la resiliencia promoviendo la provisión de múltiples servicios ecosistémicos

ACTUACIONES RECOMENDADAS

(a, b) Resalveos

(b, c) Claras de rejuvenecimiento

(a, b, c) Cortas de policía y sanitarias: brotes puntisecos, enfermos...

(b, c) Podas

(c) Siembras y/o plantaciones de diversificación (por bosquetes)

(a, b, c) Dejar en el ecosistema madera muerta de grandes dimensiones



9

REFERENCIAS

Las referencias relacionadas directamente con los robledales de Sierra Nevada se indican con *

1. Doblas-Miranda, E., Alonso, R., Arnan, X., Bermejo, V., Brotons, L., Heras, J. de las, Estiarte, M., Hódar, J.A., Llorens, P., Lloret, F., López-Serrano, F.R., Martínez-Vilalta, J., Moya, D., Penuelas, J., Pino, J., Rodrigo, A., Roura-Pascual, N., Valladares, F., Vilà, M., Zamora, R., Retana, J., 2017. A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects. *Global and Planetary Change* 148, 42–54.
2. Doblas-Miranda, E., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Álvarez, A., Ávila, A., Bonet, F.J., Brotons, L., Castro, J., Curiel Yuste, J., Díaz, M., Ferrandis, P., García-Hurtado, E., Iriondo, J.M., Keenan, T.F., Latron, J., Llusà, J., Loepfe, L., Mayol, M., Moré, G., Moya, D., Peñuelas, J., Pons, X., Poyatos, R., Sardans, J., Sus, O., Vallejo, V.R., Vayreda, J., Retana, J., 2015. Reassessing global change research priorities in Mediterranean terrestrial ecosystems: how far have we come and where do we go from here?: Global change research in MTEs. *Global Ecology and Biogeography* 24, 25–43.
3. Herrero, A., Zavala, M.A. (Eds.), 2015. Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
4. Peñuelas, J., Sardans, J., Filella, I., Estiarte, M., Llusà, J., Ogaya, R., Carnicer, J., Bartrons, M., Rivas-Ubach, A., Grau, O., Peguero, G., Margalef, O., Pla-Rabés, S., Stefanescu, C., Asensio, D., Preece, C., Liu, L., Verger, A., Barbeta, A., Achotegui-Castells, A., Gargallo-Garriga, A., Sperlich, D., Farré-Armengol, G., Fernández-Martínez, M., Liu, D., Zhang, C., Urbina, I., Camino-Serrano, M., Vives-Inglá, M., Stocker, D.B., Balzarolo, M., Guerrieri, R., Peaucelle, M., Marañón-Jiménez, S., Bórnez-Mejías, K., Mu, Z., Descals, A., Castellanos, A., Terradas, J., 2017. Impacts of global change on Mediterranean forests and their services. *Forests* 8, 463.
5. Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., García-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M.J., Marchetti, M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259, 698–709.
6. FAO, Plan Bleu (Eds.), 2018. State of Mediterranean forests 2018. Food and agriculture organization of the United Nations; Plan Bleu, Rome.
7. Tanner-McAllister, S.L., Rhodes, J., Hockings, M., 2017. Managing for climate change on protected areas: An adaptive management decision making framework. *Journal of Environmental Management* 204, 510–518.
8. Williams, B.K., 2011. Adaptive management of natural resources—framework and issues. *Journal of Environmental Management* 92, 1346–1353.
9. Williams, B.K., 2011. Passive and active adaptive management: Approaches and an example. *Journal of Environmental Management* 92, 1371–1378.
- *10. Bonet, F.J., Pérez-Luque, A.J., Aspizua, R., Muñoz, J. M. A., Zamora, R., 2015. Impactos del cambio global en los robledales de Sierra Nevada: algunas evidencias y recomendaciones de manejo. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (Eds.), *La huella del cambio global en Sierra Nevada: retos para la conservación*. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Granada, pp. 167–173.
- *11. Pérez-Luque, A.J., Benito, B.M., Bonet-García, F.J., Zamora, R., 2021. Ecological diversity within rear-edge: a case study from Mediterranean *pyrenaica* Willd. *Forests* 12, 10.
- *12. Pérez-Luque, A.J., Gea-Izquierdo, G., Zamora, R., 2020. Land-use legacies and climate change as a double challenge to oak forest resilience: mismatches of geographical and ecological rear edges. *Ecosystems* 24. <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00547-y>
- *13. Valbuena-Carabaña, M., Gil, L., 2014. Efectos de la gestión selvícola pasada y presente sobre la diversidad genética actual y futura de *Quercus pyrenaica* Willd. en Sierra Nevada. *Ecosistemas* 23, 90–98.
14. IPCC, 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- *15. Jiménez-Olivencia, Y., Porcel, L., Caballero, A., 2015. Medio siglo en la evolución de los paisajes naturales y agrarios de Sierra Nevada (España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 68, 205–232.
- *16. Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet García, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R., 2015. La huella del cambio global en Sierra Nevada: retos para la conservación. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Granada.
17. de la Serna, B.V., Sánchez-Mata, D., Gavilán, R.G., 2016. Marcescent *Quercus pyrenaica* forest on the Iberian Peninsula. En: Box, E.O. (Ed.), *Vegetation structure and function at multiple spatial, temporal and conceptual scales*. Geobotany Studies. Springer International Publishing, Cham, pp. 257–283.
18. García, I., Jiménez, P., 2009. 9230 Robledales de *Quercus pyrenaica* y robledales de *Quercus robur* y *Quercus pyrenaica* del noroeste ibérico. En: VV.AA. (Ed.), *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, pp. 1–66.
19. Nieto-Quintano, P., Caudullo, G., de Rigo, D., 2016. *Quercus pyrenaica* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. En: San Miguel Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston, T., Mauri, A. (Eds.), *European atlas of forest tree species*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, p. e01f807+.
- *20. Pérez-Luque, A.J., Bonet-García, F.J., Zamora Rodríguez, R., 2019. Map of ecosystems types in Sierra Nevada mountain (southern Spain). <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.910176>
21. Blanco Castro, E., Costa-Tenorio, M., Morla y Juaristi, C., Sanz-Ollero, H., 2005. Los bosques ibéricos: una interpretación geobotánica. *Planeta*, Barcelona.
- *22. Prieto, P., 1975. Los bosques de Sierra Nevada. *Anales Instituto Botánica Cavanilles* 32, 1099–1129.
- *23. Martínez-Parras, J.M., Molero-Mesa, J., 1982. Ecología y fitosociología de *Quercus pyrenaica* Willd. en la provincia Bética. Los melojares béticos y sus etapas de sustitución. *Lazaroa* 4, 91–104.

- *24. Pérez-Raya, F., López-Nieto, J.M., Molero-Mesa, J., Valle, F., 1990. Vegetación de Sierra Nevada. Guía geobotánica de la Excursión de las X Jornadas de Fitosociología. Ayuntamiento de Granada, Granada.
- *25. Lorite, J., 2001. La vegetación de Sierra Nevada, En: Blanca, G., López-Onieva, M.R., Lorite, J., Martínez Lirola, M.J., Molero-Mesa, J., Quintas, S., Ruiz-Girela, M., Varo, M.A., Vidal, S., 2001. Flora amenazada y endémica de Sierra Nevada. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, pp. 25–45.
- *26. Prieto, P., Espinosa, P., 1977. La aestisilva de Sierra Nevada. Trabajos Departamento Botánica Universidad de Granada 4, 37–44.
- *27. Lorite, J., Salazar, C., Peñast, J., Valle, F., 2008. Phytosociological review on the forests of *Quercus pyrenaica* Willd. Acta Botanica Gallica 155, 219–233.
- *28. Gómez-Aparicio, L., Zavala, M.A., Bonet, F.J., Zamora, R., 2009. Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. Ecological Applications 19, 2124–2141.
- *29. Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Pérez-Pérez, R., Aspizua, R., Lorite, J., Zamora, R., 2014. Sinfonevada: Dataset of floristic diversity in Sierra Nevada forests (SE Spain). PhytoKeys 35, 1–15.
- *30. Blanca, G., Cueto, M., Martínez-Lirola, M.J., Molero-Mesa, J., 1998. Threatened vascular flora of Sierra Nevada (Southern Spain). Biological Conservation 85, 269–285.
- *31. Barea-Azcón, J.M., Martín-Jaramillo, J., López, R., 2012. Passeriformes y otras aves, En: Aspizua, R., Barea-Azcón, J., Bonet, F., Pérez-Luque, A., Zamora, R. (Eds.), Observatorio de Cambio Global de Sierra Nevada: metodologías de seguimiento. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, pp. 84–86.
- *32. Zamora, R., Barea-Azcón, J.M., 2015. Long-term changes in mountain passerine bird communities in the Sierra Nevada (southern Spain): a 30-year case study. Ardeola 62, 3–18.
- *33. Pérez-Luque, A.J., Barea-Azcón, J.M., Álvarez-Ruiz, L., Bonet-García, F.J., Zamora, R., 2016. Dataset of Passerine bird communities in a Mediterranean high mountain (Sierra Nevada, Spain). ZooKeys 552, 137–154.
34. Gómez, J.M., 2003. Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. Ecography 26, 573–584.
35. Perea, R., Miguel, A.S., Gil, L., 2014. Interacciones planta-animal en la regeneración de *Quercus pyrenaica*: ecología y gestión. Ecosistemas 23(2): 18-26.
36. Perea, R., Miguel, A.S., Gil, L., 2011. Acorn dispersal by rodents: The importance of re-dispersal and distance to shelter. Basic and Applied Ecology 12, 432–439.
- *37. Gómez, J., García, D., Zamora, R., 2003. Impact of vertebrate acorn- and seedling-predators on a Mediterranean *Quercus pyrenaica* forest. Forest Ecology and Management 180, 125–134.
- *38. Gil-Sánchez, J.M., Barea-Azcón, J.M., Jaramillo, J., Herrera-Sánchez, F.J., Jiménez, J., Virgós, E., 2020. Fragmentation and low density as major conservation challenges for the southernmost populations of the European wildcat. PLoS ONE 15, e0227708.
39. Granados, J.E., Ros-Candeira, A., Pérez-Luque, A.J., Moreno-Llorca, R., Cano-Manuel, F.J., Fandos, P., Sorriquer, R.C., Cerrato, J.E., Jiménez, J.M.P., Ramos, B., Zamora, R., 2020. Long-term monitoring of the Iberian ibex population in the Sierra Nevada of the southeast Iberian Peninsula. Scientific Data 7, 203.
- *40. Baraza, E., 2005. Efecto de los pequeños ungulados en la regeneración del bosque de la montaña mediterránea: desde la química hasta el paisaje. Ecosistemas 14, 177–181.
- *41. Baraza, E., Hódar, J.A., Zamora, R., 2007. Influencia de las características de las especies y el manejo en el consumo de la cabra montés (*Capra pyrenaica*) de cinco especies de importancia forestal, En: Granados, J.E., Cano-Manuel, F.J., Fandos, P., Cadenas de Llano, R. (Eds.), Tendencias actuales en el estudio y conservación de los caprinos europeos. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, pp. 31–46.
- *42. Baraza, E., Gómez, J.M., Hódar, J.A., Zamora, R., 2004. Herbivory has a greater impact in shade than in sun: response of *Quercus pyrenaica* seedlings to multifactorial environmental variation. Canadian Journal of Botany 82, 357–364.
43. Pleguezuelos, J. (Ed.), 1997. Distribución y biogeografía de los anfibios y reptiles en España y Portugal. Monografías de Herpetología, vol.3. Asociación Herpetológica Española, Granada.
44. Ruano, F., Tierno de Figueroa, J., Tinaut, A. (Eds.), 2013. Los insectos de Sierra Nevada. 200 años de historia. Asociación Española de Entomología.
- *45. Gorener, V., Harvey-Brown, Y., Barstow, M., 2017. *Quercus pyrenaica*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T78972170A78972188. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T78972170A78972188.en>
46. Rivers, M., Beech, E., Bazos, I., Bogunic, F., Buira, A., Cakovic, D., Carapeto, A., Carta, A., Cornier, B., Fenu, G., Fernandes, F., Fraga i Arguimbau, P., Garcia-Murillo, P., Lepši, M., Matevski, V., Medina, F., Menezes de Sequeira, M., Meyer, N., Mikoláš, V., Montagnani, C., Monteiro-Henriques, T., Naranjo-Suárez, J., Orsenigo, S., Petrova, A., Reyes-Betancort, A., Rich, T., Salvessen, P.H., Santana-López, I., Scholz, S., Sennikov, A., Shuka, L., Silva, L.F., Thomas, P., Troia, A., Vilar, J.L., Allen, D., 2019. European Red List of Trees. IUCN, Cambridge, UK and Brussels, Belgium.
- *47. Vivero, J., Prados, J., Hernández-Bermejo, J., 2000. *Quercus pyrenaica* Willd., En: Blanca, G., Cabezudo, B., Hernández-Bermejo, J., Herrera, C., Muñoz, J., Valdés, B. (Eds.), Libro Rojo de La Flora Silvestre Amenazada de Andalucía. II. Especies Vulnerables. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 303–306.
48. Cabezudo, B., Talavera, S., Blanca, G., Salazar, C., Cueto, M., Valdés, B., Hernández-Bermejo, J.E., Herrera, C.M., Rodríguez-Hirald, C., Navas, D., 2005. Lista roja de la flora vascular de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla.
- *49. Blanca, G., López-Onieva, M.R., Lorite, J., Martínez Lirola, M.J., Molero-Mesa, J., Quintas, S., Ruiz-Girela, M., Varo, M.A., Vidal, S., 2001. Flora amenazada y endémica de Sierra Nevada. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- *50. Lorite, J., 2016. An updated checklist of the vascular flora of Sierra Nevada (SE Spain). Phytotaxa 261, 1–57.
- *51. Lorite, J., Navarro, F.B., Valle, F., 2007. Estimation of threatened orophytic flora and priority of its conservation in the Baetic range (S. Spain). Plant Biosystems 141, 1–14.

52. Davies, C.E., Moss, D., Hill, M.O., 2004. EUNIS habitat classification revised 2004. European Environment Agency-European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity.
53. Devillers, P., Devillers-Terschuren, J., 1998. A classification of Palearctic habitats. Council of Europe Publ., Strasbourg.
54. Gavilán, R.G., Escudero, A., Rubio, A., 2000. Effects of disturbance on floristic patterns of *Quercus pyrenaica* forests in Central Spain. En: Proceedings IAVS Symposium. International Association for Vegetation Science, Uppsala, pp. 226–229.
55. Gavilán, R.G., Mata, D.S., Vilches, B., Entrocassi, G., 2007. Modelling current distribution of Spanish *Quercus pyrenaica* forests using climatic parameters. *Phytocoenologia* 37, 561–581.
56. Tárrega, R., Calvo, L., Marcos, E., Taboada, A., 2006. Forest structure and understory diversity in *Quercus pyrenaica* communities with different human uses and disturbances. *Forest Ecology and Management* 227, 50–58.
57. Ruiz de la Torre, J., 2006. Flora mayor. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.
- *58. Valbuena-Carabaña, M., Gil, L., 2017. Centenary coppicing maintains high levels of genetic diversity in a root resprouting oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Tree Genetics & Genomes* 13, 28.
59. Laguna, M., 1872. Comisión de la Flora forestal española. Resumen de los trabajos verificados por la misma durante los años de 1869 y 1870. Imprenta del Colegio nacional de sordomudos y de ciegos, Madrid.
- *60. Jiménez Olivencia, Y., 1991. Los paisajes de Sierra Nevada: cartografía de los sistemas naturales de una montaña mediterránea. Universidad de Granada, Granada.
- *61. Camacho-Olmedo, M.T., García-Martínez, P., Jiménez Olivencia, Y., Menor-Toribio, J.A., Paniza-Cabrera, A., 2002. La Alta Alpujarra granadina en la segunda mitad del siglo XX a través de la cartografía evolutiva de su paisaje: dinámica vegetal y repoblación forestal. En: AA.VV. Los espacios rurales entre hoy y mañana: Actas Del XI Coloquio de Geografía Rural. Universidad de Cantabria, Santander, pp. 535–546.
- *62. Mesa Garrido, M.Á., 2019. Reforestación, silvicultura e incendios forestales en la dinámica del paisaje del Espacio Natural de Sierra Nevada (1881-2018). *Investigaciones Geográficas* 71, 209–234.
- *63. Romero-Zurbano, A., 1909. División hidrológico-forestal del Guadalquivir. Cuenca del Guadalfeo. Reseña de los trabajos ejecutados en la 1ª sección de la cuenca del Guadalfeo hasta fin de 1908. *Revista de Montes* 771, 157–162.
- *64. Fernández de Castro, A., 1911. Efectos del temporal de la primera quincena de diciembre de 1910 en la cuenca del Guadalfeo (Granada). *Revista de Montes* 817, 91–96.
- *65. Navarro-González, I., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Zamora, R., 2013. The weight of the past: land-use legacies and recolonization of pine plantations by oak trees. *Ecological Applications* 23, 1267–1276.
- *66. Jiménez-Olivencia, Y., Porcel-Rodríguez, L., Caballero-Calvo, A., Bonet, F.J., 2015. Evolución de los usos del suelo en Sierra Nevada en los últimos 50 años y cambios en el paisaje. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (Eds.), La huella del cambio global en Sierra Nevada: retos para la conservación. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Granada, pp. 54–56.
- *67. Pérez-Luque, A. J., Zamora, R., Bonet, F.J., Pérez-Pérez, R., 2015. Dataset of MiGRAME project (global change, altitudinal range shift and colonization of degraded habitats in Mediterranean mountains). *PhytoKeys* 56, 61–81.
68. MacDonald, D., Crabtree, J.R., Wiesinger, G., Dax, T., Stamou, N., Fleury, P., Gutierrez Lazpita, J., Gibon, A., 2000. Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *Journal of Environmental Management* 59, 47–69.
69. Pias, B., Escribano-Avila, G., Virgós, E., Sanz-Pérez, V., Escudero, A., Valladares, F., 2014. The colonization of abandoned land by Spanish juniper: Linking biotic and abiotic factors at different spatial scales. *Forest Ecology and Management* 329, 186–194.
70. García-Valdés, R., Zavala, M.A., Araújo, M.B., Purves, D.W., 2013. Chasing a moving target: projecting climate change-induced shifts in non-equilibrium tree species distributions. *Journal of Ecology* 101, 441–453.
- *71. Gea-Izquierdo, G., Cañellas, I., 2014. Local climate forces instability in long-term productivity of a Mediterranean oak along climatic gradients. *Ecosystems* 17, 228–241.
72. Benito-Garzón, M., de Dios, R.S., Ollero, H.S., 2008. Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Applied Vegetation Science* 11, 169–178.
- *73. Benito, B., Lorite, J., Peñas, J., 2011. Simulating potential effects of climatic warming on altitudinal patterns of key species in Mediterranean-alpine ecosystems. *Climatic Change* 108, 471–483.
- *74. Benito, B.M., 2009. Ecoinformática aplicada a la conservación: simulación de efectos del cambio global en la distribución de la Flora de Andalucía. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- *75. Gómez-Aparicio, L., Pérez-Ramos, I.M., Mendoza, I., Matías, 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.
- *76. Mendoza, I., Zamora, R., Castro, J., 2009. A seeding experiment for testing tree-community recruitment under variable environments: Implications for forest regeneration and conservation in Mediterranean habitats. *Biological Conservation* 142, 1491–1499.
- *77. Gómez, J.M., Gómez-Aparicio, L., Zamora, R., Montes, J., 2001. Problemas de regeneración de especies forestales autóctonas en el espacio natural protegido de Sierra Nevada. III Congreso Forestal Español, Sociedad Española de Ciencias Forestales, Granada.
- *78. Pérez-Luque, A.J., Pérez-Pérez, R., Bonet-García, F.J., Magaña, P.J., 2015. An ontological system based on MODIS images to assess ecosystem functioning of Natura 2000 habitats: A case study for *Quercus pyrenaica* forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 37, 142–151.
- *79. Dionisio, M.A., Alcaraz-Segura, D., Cabello, J., 2012. Satellite-based monitoring of ecosystem functioning in protected areas: recent trends in the oak forests (*Quercus pyrenaica* Willd.) of Sierra Nevada (Spain). En: Young, S., Silvern, S. (Eds.), International perspectives on global environmental change. pp. 355–374.
- *80. Alcaraz-Segura, D., Reyes, A., Cabello, J., 2016. Changes in vegetation productivity according to teledetection. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (Eds.), Global change impacts in

Sierra Nevada: challenges for conservation. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía, pp. 142–145.

*81. Moreno-Llorca, R.A., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., R, Z., 2016. Historical analysis of socio-ecological changes in the municipality of Cañar (Alpujarra, Sierra Nevada) over the last 5 centuries. En: Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M., Aspizua, R. (Eds) Global change impacts in Sierra Nevada: challenges for conservation. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía, pp. 59–62.

83. Vericat, P., Piqué, M., Serrada, R. (Eds.), 2012. Gestión adaptativa al cambio global en masas de *Quercus mediterráneas*. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC), Solsona (Lleida).

84. Piqué, M., Vericat, P., 2015. Evolution and perspectives of coppice forests in European countries and South Africa. Spain. En: Bartlett, D., Nicolescu, V.-N., Pyttel, P. (Eds.), FPS COST Action FP1301: Innovative management and multifunctional utilization of traditional coppice forests? An answer to future ecological, economic and social challenges in the European forestry sector (EuroCoppice). pp. 38–40.

85. Allué, M., 1997. La gestión de los robledales segovianos de *Quercus pyrenaica* Willd.: retrospectiva, situación actual y tendencias futuras. *Ecología* 11, 189–205.

86. Cañellas, I., Del-Río, M., Roig, S., Montero, G., 2004. Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain. *Annals of Forest Science* 61, 243–250.

87. Calvo, L., Tárrega, R., de Luis, E., 1999. Post-fire succession in two *Quercus pyrenaica* communities with different disturbance histories. *Annals of Forest Science* 56, 441–447.

88. Calvo, L., Santalla, S., Marcos, E., Valbuena, L., Tárrega, R., Luis, E., 2003. Regeneration after wildfire in communities dominated by *Pinus pinaster*, an obligate seeder, and in others dominated by *Quercus pyrenaica*, a typical resprouter. *Forest Ecology and Management* 184, 209–223.

89. Cañellas, I., Sánchez-González, M., Bogino, S.M., Adame, P., Herrero, C., Roig, S., Tomé, M., Paulo, J.A., Bravo, F., 2008. Silviculture and carbon sequestration in Mediterranean oak forests. En: Bravo, F., Jandl, R., LeMay, V., von Gadow, K. (Eds.), *Managing forest ecosystems: the challenge of climate change*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 317–338.

90. Crespo-Rodrigo, A., García Quintanta, I., 2013. Guía de gestión para los rebollares (*Quercus pyrenaica* Willd.). En: VI Congreso Forestal Español, Sociedad Española de Ciencias Forestales, Vitoria.

*91. Valbuena-Carabaña, M., Gil, L., 2013a. ¿Reduce el aprovechamiento en monte bajo de *Quercus pyrenaica* Willd. sus niveles de diversidad genética?. En: VI Congreso Forestal Español, Sociedad Española de Ciencias Forestales, Vitoria.

92. Aldea, J., Bravo, F., Bravo-Oviedo, A., Ruiz-Peinado, R., Rodríguez, F., del Río, M., 2017. Thinning enhances the species-specific radial increment response to drought in Mediterranean pine-oak stands. *Agricultural and Forest Meteorology* 237–238, 371–383.

93. Moreno-Fernández, D., Aldea, J., Gea-Izquierdo, G., Cañellas, I., Martín-Benito, D., 2020. Influence of climate and thinning on *Quercus pyrenaica* Willd. coppices growth dynamics. *European Journal of Forest Research*, 40, 187–197.

94. Bravo, J.A., Roig, S., Serrada, R. (Eds.), 2008. *Silvicultura en montes bajos y medios de Quercus ilex L., Q. pyrenaica Willd. y Q. faginea Lam.*, En: Serrada, R., Montero, G., Roque, J.A. *Compendio de silvicultura aplicada en España*. INIA, Madrid, pp. 657–744.

95. Sanchez-Humanes, B., Espelta, J.M., 2011. Increased drought reduces acorn production in *Quercus ilex* coppices: thinning mitigates this effect but only in the short term. *Forestry* 84, 73–82.

96. Martink, A., Kneifl, M., Kadavý, J., Knott, R., 2017. Effect of thinning on acorn production of old sprout-origin sessile oaks (*Quercus petraea* Matt./Liebl.). *Austrian Journal of Forest Science* 134, 163–179.

*97. Leal, J., 2013. Análisis del crecimiento vegetativo e inversión reproductiva de *Quercus pyrenaica* Willd. en tres localidades de Sierra Nevada. (Tesis de Master). Universidad de Granada.

*98. Nieves-Aldrey, J.L., 2013. Las avispas de las agallas (Hymenoptera: Cynipidae). En: Ruano, F., Tierno de Figueroa, J., Tinaut, A. (Eds.), *Los Insectos de Sierra Nevada. 200 años de historia*. pp. 366–373.

*99. Sanchez de Dios, R., Enríquez de Salamanca, A., 2018. Especies afectadas por el cambio climático: el melojo (*Quercus pyrenaica*). *Foresta* 73, 20–21.

100. Sánchez de Dios, R., Benito-Garzón, M., Sainz-Ollero, H., 2009. Present and future extension of the Iberian submediterranean territories as determined from the distribution of marcescent oaks. *Plant Ecology* 204, 189–205.

*101. Valbuena-Carabaña, M., Gil, L., 2013. Genetic resilience in a historically profited root sprouting oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) at its southern boundary. *Tree Genetics & Genomes* 9, 1129–1142.

102. Alcaraz-Segura, D., Di Bella, C., Straschnoy, J. (Eds.), 2017. *Earth observation of ecosystem services*. CRC Press.

103. Alvarez-Uria, P., Körner, C., 2007. Low temperature limits of root growth in deciduous and evergreen temperate tree species. *Functional Ecology* 21, 211–218.

104. Loydi, A., Lohse, K., Otte, A., Donath, T.W., Eckstein, R.L., 2014. Distribution and effects of tree leaf litter on vegetation composition and biomass in a forest-grassland ecotone. *Journal of Plant Ecology* 7, 264–275.

105. Esteso-Martínez, J., Gil-Pelegrin, E., 2004. Frost resistance of seeds in Mediterranean oaks and the role of litter in the thermal protection of acorns. *Annals of Forest Science* 61, 481–486.

106. Löf, M., Castro, J., Engman, M., Leverkus, A.B., Madsen, P., Reque, J.A., Villalobos, A., Gardiner, E.S., 2019. Tamm Review: Direct seeding to restore oak (*Quercus* spp.) forests and woodlands. *Forest Ecology and Management* 448, 474–489.

107. Aizen, M.A., Woodcock, H., 1996. Effects of acorn size on seedling survival and growth in *Quercus rubra* following simulated spring freeze. *Canadian Journal of Botany* 74, 308–314.

108. Xiong, S., Nilsson, C., 1999. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis. *Journal of Ecology* 87, 984–994.

*109. Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Guerrero-Alonso, P.D., Moreno-Llorca, R., Merino-Ceballos, M., Ros-Candeira, A., 2021. Uniendo macro y microclima en paisajes de montaña: una aproximación conceptual e instrumental. *Ecosistemas* 30 (1): 2166.

110. Gauquelin, T., Michon, G., Joffre, R., Duponnois, R., Génin, D., Fady, B., Bou Dagher-Kharrat, M., Derridj, A., Slimani, S., Badri, W., Alifriqui, M., Auclair, L., Simenel, R., Aderghal, M., Baudoin, E., Galiana, A., Prin, Y., Sanguin, H., Fernandez, C., Baldy, V., 2018. Mediterranean forests, land use and climate change: a social-ecological perspective. *Regional Environmental Change* 18, 623–636
111. Noce, S., Santini, M., 2018. Mediterranean forest ecosystem services and their vulnerability. Foundation Euro-Mediterranean Center on Climate Change.
112. Lauterbach, S., 2007. An assessment of existing demand for carbon sequestration services. *Journal of Sustainable Forestry* 25, 75–98.
113. Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213–215.
114. Cañellas, I., Sánchez-González, M., Bogino, S.M., Adame, P., Moreno-Fernández, D., Herrero, C., Roig, S., Tomé, M., Paulo, J.A., Bravo, F., 2017. Carbon sequestration in mediterranean oak forests, En: Bravo, F., LeMay, V., Jandl, R. (Eds.), *Managing forest ecosystems: the challenge of climate change*. Springer International Publishing, Cham, pp. 403–427.
115. Pasaolodos-Tato, M., Almazán Riballo, E., Montero, G., Diaz-Balteiro, L., 2017. Evaluation of tree biomass carbon stock changes in Andalusian forests: comparison of two methodologies. *Carbon Management* 8, 125–134.
- *116. Pérez-Luque, A. J., Tanase, M., Aponte, C., Zamora, R., 2021. Carbon sequestration of coppiced forests of *Quercus pyrenaica*. An study case from the rear-edge of its distribution. (in prep).
117. Zhongming, W., Lees, B.G., Feng, J., Wanning, L., Haijing, S., 2010. Stratified vegetation cover index: A new way to assess vegetation impact on soil erosion. *CATENA* 83, 87–93.
118. Allué, M., 1995. Ordenación de masas de *Quercus pyrenaica* Willd. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 1, 107–135.
119. Mesón, M.L., Montoya, J.M., 1985. Vegetación forestal y degradación de los bosques de *Quercus pyrenaica* Willd. en España. Serie Recursos naturales. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, España.
120. Salomón, R., Rodríguez-Calcerrada, J., Gil, L., Valbuena-Carabaña, M., 2018. Respiratory costs of woody tissues in a *Quercus pyrenaica* coppice. *iForest* 11, 437–441.
121. Mesón-García, M.L., 1984. Bases ecológicas y pascícolas para la planificación silvopastoral de las masas de *Quercus pyrenaica* Willd en la provincia de Madrid. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- *122. Cobo-Díaz, J.F., Fernández-González, A.J., Villadas, P.J., Toro, N., Tringe, S.G., Fernández-López, M., 2017. Taxonomic and functional diversity of a *Quercus pyrenaica* Willd. rhizospheric microbiome in the Mediterranean mountains. *Forests* 8, 390.
- *123. Lasa, A.V., Fernández-González, A.J., Villadas, P.J., Toro, N., Fernández-López, M., 2019. Metabarcoding reveals that rhizospheric microbiota of *Quercus pyrenaica* is composed by a relatively small number of bacterial taxa highly abundant. *Scientific Reports* 9, 1–13.
124. Hengf, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G.B.M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagoti, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Leenaars, J.G.B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., Kempen, B., 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE* 12, e0169748.
- *125. Losa, J.M., Molero, J., Casares, M., 1986. El paisaje vegetal de Sierra Nevada: la cuenca alta del río Genil, Granada. Universidad de Granada, Granada.
- *126. Melendo, M., Valle, F., 2000. Estudio comparativo de los melojares nevadenses, En: Chacón, J., Rosúa, J. (Eds.), *1 Conferencia Internacional Sierra Nevada*. Universidad de Granada, Granada, pp. 463–479.
127. Ortega, A., Lorite, J., Valle, F., 2010. Mycorrhizal macrofungi diversity (Agaricomycetes) from Mediterranean *Quercus* forests; a compilation for the Iberian Peninsula (Spain and Portugal). *Nova Hedw.* 91, 1–31.
128. Moreno-Arroyo, B. (Ed.), 2004. *Inventario Micológico Básico de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Córdoba.
129. Calama, R., 2017. La gestión forestal como herramienta para la adaptación al cambio climático: ¿realidad o ficción científica? Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 43, 59-90.
130. Schägner, J. P., J. Maes, L. Brander, M.-L. Paracchini, V. Hartje, and G. Dubois. 2017. Monitoring recreation across European nature areas: A geo-database of visitor counts, a review of literature and a call for a visitor counting reporting standard. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 18:44–55.
131. Martínez-Peña, F., Aldea, J., de Frutos, P., Cesefero, F., 2015. Renta ambiental de la recolección pública de setas silvestres en los sistemas forestales de Andalucía, En: Campos, P., Díaz, M. (Eds.), *Biodiversidad, usos del agua forestal y recolección de setas silvestres en los sistemas forestales de Andalucía*, Memorias científicas de RECAMAN Volumen 2. Memoria 2.3. pp. 274–388.
- *132. Raya-López, L., Checa, R., Donaire-Sánchez, F., Osuna, Ú., Paredes, A., Velasco-Román, R., 2017. Muestras para la evaluación del recurso micológico en los principales hábitats de Andalucía, VII Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Plasencia, Cáceres.
133. Torner-Ochoa, A., 1952. Los cortientes vegetales. Primera parte. Análisis de los mismos y estudio de especies tácticas españolas. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE). Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Ministerio de Agricultura, Madrid.
134. Ramilo, P., Guerrero, J.R., Micó, E., Galante, E., 2017. Volatile organic compounds emitted by *Quercus pyrenaica* Willd. and its relationship with saproxylic beetle assemblages. *Arthropod-Plant Interactions* 11, 221–234.
135. Gallego, L., Del Alamo, M., Nevares, I., Fernández, J., de Simón, B.F., Cadahía, E., 2012. Phenolic compounds and sensorial characterization of wines aged with alternative to barrel products made of Spanish oak wood (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Food Science and Technology International*, 18, 151–165.

136. Cadahia, E., Fernández de Simón, Brígida., 2004. Utilización de roble español en el envejecimiento de vinos: comparación con el roble francés y americano, Monografías INIA. Serie Forestal. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimenticia, Madrid.
137. Fernández de Simón, B., Cadahía, E., Sanz, M., Poveda, P., Perez-Magariño, S., Ortega-Heras, M., González-Huerta, C., 2008. Volatile compounds and sensorial characterization of wines from our Spanish Denominations of Origin, aged in Spanish rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) oak wood barrels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 9046–9055.
138. Fernández de Simón, B., Esteruelas, E., Muñoz, Á.M., Cadahía, E., Sanz, M., 2009. Volatile compounds in acacia, chestnut, cherry, ash, and oak woods, with a view to their use in cooperage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 3217–3227.
139. Gallego, L., 2013. Estudio del potencial enológico de los productos de madera de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) autóctono de Castilla y León para la producción de vinos de calidad. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
140. Martínez-Gil, A.M., del Alamo-Sanza, M., Nevares, I., Sánchez-Gómez, R., Gallego, L., 2020. Effect of size, seasoning and toasting level of *Quercus pyrenaica* Willd. wood on wine phenolic composition during maturation process with micro-oxygenation. *Food Research International* 128, 108703.
141. Rocas-Díaz, J.V., Vayreda, J., Banqué-Casanovas, M., Cusó, M., Anton, M., Bonet, J.A., Brotons, L., De Cáceres, M., Herrando, S., Martínez de Aragón, J., de-Miguel, S., Martínez-Vilalta, J., 2018. Assessing the distribution of forest ecosystem services in a highly populated Mediterranean region. *Ecological Indicators* 93, 986–997.
142. Vaz, A.S., Moreno-Llorca, R.A., Gonçalves, J.F., Vicente, J.R., Méndez, P.F., Revilla, E., Santamaría, L., Bonet-García, F.J., Honrado, J.P., Alcaraz-Segura, D., 2020. Digital conservation in biosphere reserves: Earth observations, social media, and nature's cultural contributions to people. *Conservation Letters*. 13: e12704.
143. Moreno-Llorca, R., F. Méndez, P., Ros-Candeira, A., Alcaraz-Segura, D., Santamaría, L., Ramos-Ridao, Á.F., Revilla, E., Bonet-García, F.J., Vaz, A.S., 2020. Evaluating tourist profiles and nature-based experiences in Biosphere Reserves using Flickr: Matches and mismatches between online social surveys and photo content analysis. *Science of The Total Environment* 737, 140067.
144. Ros-Candeira, A., Moreno-Llorca, R., Alcaraz-Segura, D., Bonet-García, F.J., Vaz, A.S., 2020. Social media photo content for Sierra Nevada: a dataset to support the assessment of cultural ecosystem services in protected areas. *Nature Conservation* 38, 1–12.
145. Zapponi, L., Mazza, G., Farina, A., Pedrigoli, L., Mazzocchi, F., Roversi, P.F., Peverieri, G.S., Mason, F., 2017. The role of monumental trees for the preservation of saproxylic biodiversity: re-thinking their management in cultural landscapes. *Nature Conservation* 19, 231–243.
146. Asciuto, A., Borsellino, V., D'Acquisto, M., Di Franco, C.P., Di Schimmenti, M., 2016. Monumental trees and their existence value: the case study of an Italian natural park. *Journal of Forest Science* 61, 55–61.
147. Blicharska, M., Mikusinski, G., 2014. Incorporating social and cultural significance of large old trees in conservation policy. *Conservation Biology* 28, 1558–1567.
148. Moya, B., Moya, J., 2013. Monumental trees and mature forests threatened in the Mediterranean landscapes. IMELSA, Valencia.
- *149. Irurita-Fernández, J.M., Navarro-Domínguez, M., Márquez-Rodríguez, I., Costa, J.C., Sánchez-Lancha, A., 2003. Árboles y arboledas singulares de Andalucía. Granada. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- *150. Martínez-Labarga, J.M., Peiró, J.M., Oria de Rueda, J.A., 1990. Abedular relicto en Sierra Nevada. *Ecología* 4, 89–97.
151. Stone, G. N., K. Schönrogge, R. J. Atkinson, D. Bellido, and J. Pujade-Villar. 2002. The population biology of oak gall wasps (Hymenoptera: Cynipidae). *Annual Review of Entomology* 47:633–668.
152. Soria, S., 1988. Relación de lepidópteros paleárticos defoliadores del género *Quercus* L. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*, 14 (1): 11-26.
153. Soria, S., 1987. Lepidópteros defoliadores de *Quercus pyrenaica*, Willdenow, 1805. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
154. Rinaldi, F., & R. Jonsson. 2020. Accounting for uncertainty in forest management models. *Forest Ecology and Management* 468:118186.
155. Löf, M., J. Brunet, A. Filyushkina, M. Lindblad, J. P. Skovsgaard, and A. Felton. 2015. Management of oak forests: striking a balance between timber production, biodiversity and cultural services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 12:59–73.
156. Zamora, R. & F. Bonet. 2015. Experiencias en la transferencia de conocimientos en el Parque Nacional de Sierra Nevada, en el marco del proyecto de seguimiento de cambio global. En: Herrero, A. y M.A. Zavala (Ed.). *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. Pp. 513-519.
157. Arrechea, E., 2015. Los efectos de las intervenciones selvícolas en las masas de monte bajo de *Quercus pyrenaica* en los montes públicos de la Sierra del Moncayo en Aragón. En: Herrero, A. y M.A. Zavala (Ed.). *Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: impactos, vulnerabilidad y adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. Pp. 535-542.
158. EUROPARC-España. 2017. *Los bosques maduros: características y valor de conservación*. Ed. Fundación Fernando González Bernaldez, Madrid.
159. EUROPARC-España. 2020. *Bosques maduros mediterráneos: características y criterios de gestión en áreas protegidas*. Ed. Fundación Fernando González Bernaldez, Madrid





10

ANEXOS

ANEXO 1. PROYECTOS RELACIONADOS CON LOS ROBLEDALES EN SIERRA NEVADA

Año de ejecución	Nombre proyecto	Superficie total del proyecto (ha)
2005	Proyecto de actuaciones en la Dehesa de San Juan. Finca pública del Parque Nacional de Sierra Nevada	25.6
2005	Proyecto de tratamientos selvícolas preventivos contra incendios forestales en masas de frondosas de Sierra Nevada	661.3
2007	Proyecto de actuaciones de conservación y mejora de masas forestales atacadas por defoliables en Sierra Nevada (Parque Nacional-Natural)	118
2008	Gestión Adaptativa de las masas de <i>Quercus pyrenaica</i> de Sierra Nevada a los procesos de cambio global	625
2017	Medidas para proteger los servicios que proporcionan encinares y robledales de Sierra Nevada vulnerables al cambio climático (LIFE ADAPTAMED)	50

ANEXO 2. LISTADO DE ESPECIES VEGETALES

Especies vegetales identificadas en cada población de robledal de Sierra Nevada, extraído del Inventario forestal de Sierra Nevada ²⁹, y completado con especies singulares, relictas o amenazadas identificadas en el Programa de Seguimiento de Cambio Global de Sierra Nevada y/o en los trabajos de seguimiento del Plan de Altas Cumbres de Andalucía.

(*) Especies singulares, relictas o amenazadas. En la columna N.A. se indica el nivel de amenaza, cuando procede. Nivel de amenaza según criterios UICN: En peligro crítico (CR) si el riesgo de extinción es extremadamente alto; En peligro (EN) si el riesgo de extinción es muy alto; Vulnerable (VU) si el riesgo de extinción es alto; Casi amenazada (NT); Datos insuficientes (DD); No evaluada (NE). Recopilado de la "Lista roja de la flora vascular de Andalucía" 2005, Junta de Andalucía. DH. Incluida en la Directiva Hábitats.

TAXÓN	N.A.	CAM	GEN	MON	DIL	DUR	CAN	POQ	TRE
<i>Acer opalus</i> subsp. <i>granatense</i> *	(NT)	1		1	1				
<i>Acer monspesulum</i> *			1						
<i>Adenocarpus decorticans</i>		1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Agrostis canina</i>		1							
<i>Andryala integrifolia</i>									1
<i>Arenaria armerina</i> subsp. <i>armerina</i>		1							

TAXÓN	N.A.	CAM	GEN	MON	DIL	DUR	CAN	POQ	TRE
<i>Armeria villosa</i> subsp. <i>bernisii</i>		1		1		1			
<i>Arrhenatherum elatius</i> subsp. <i>bulbosum</i>					1		1		
<i>Artemisia absinthium</i>						1			
<i>Artemisia barrelieri</i>						1			
<i>Artemisia campestris</i> subsp. <i>glutinosa</i>		1	1	1	1	1	1		1
<i>Avenula bromoides</i> subsp. <i>pauneroi</i>			1	1	1	1			
<i>Berberis hispanica</i>		1		1	1				1
<i>Betula pendula</i> subsp. <i>fontqueri</i> *	(EN)	1	1		1	1			
<i>Brachypodium retusum</i>					1				1
<i>Carlina corymbosa</i>		1				1		1	1
<i>Carthamus lanatus</i>			1			1	1		1
<i>Celtis australis</i>				1					
<i>Centaurea monticola</i> *	(VU)							1	
<i>Centaurea ornata</i>		1							
<i>Centaurea pulvinata</i> *	(VU)			1					
<i>Cerastium gibraltarium</i>		1		1		1			1
<i>Chondrilla juncea</i>		1							
<i>Cirsium odontolepis</i>						1			
<i>Cirsium pyrenaicum</i>									1
<i>Clematis vitalba</i>					1				
<i>Clinopodium vulgare</i> subsp. <i>arundanum</i>		1		1					
<i>Corynephorus canescens</i>				1	1				
<i>Cotoneaster granatensis</i> *	(NT)	1			1	1			
<i>Crataegus granatensis</i>		1							
<i>Crataegus monogyna</i> subsp. <i>brevispina</i>		1	1	1	1	1			1
<i>Crocus nevadensis</i>		1							
<i>Cytisus galianoi</i>		1							
<i>Cytisus scoparius</i> subsp. <i>reverchonii</i>		1		1	1	1			
<i>Dactylis glomerata</i>		1	1						
<i>Dactylis glomerata</i> subsp. <i>hispanica</i>				1	1	1	1		
<i>Daphne gnidium</i>									1
<i>Delphinium emarginatum</i> subsp. <i>nevadensis</i> **		1	1						
<i>Dianthus pungens</i> subsp. <i>brachyanthus</i>				1	1	1			
<i>Digitalis purpurea</i>			1						

TAXÓN	N.A.	CAM	GEN	MON	DIL	DUR	CAN	POQ	TRE
<i>Echinopartum boissieri</i>				1					
<i>Elymus hispanicus</i>		1							
<i>Erinacea anthyllis</i>									1
<i>Eryngium campestre</i>		1	1	1				1	1
<i>Euphorbia characias</i>						1		1	1
<i>Euphorbia nevadensis</i>	(NT)					1			
<i>Festuca elegans*</i>	(DH)	1		1					1
<i>Festuca hystrix</i>				1	1				
<i>Festuca indigesta</i>		1			1	1	1		1
<i>Festuca scariosa</i>		1	1						
<i>Fraxinus angustifolia</i>			1						
<i>Genista cinerea</i> subsp. <i>speciosa</i>				1					
<i>Genista versicolor</i>		1			1	1	1		1
<i>Halimium atriplicifolium</i>					1				1
<i>Helianthemum hirtum</i>		1		1		1			
<i>Helichrysum italicum</i> subsp. <i>serotinum</i>							1	1	1
<i>Helleborus foetidus</i>		1	1	1	1				1
<i>Hieracium pilosella</i> subsp. <i>tricholepium</i>		1					1		
<i>Hormatophylla spinosa</i>		1				1			
<i>Hypericum perforatum</i>				1		1		1	1
<i>Juncus effusus</i>								1	
<i>Juniperus communis</i>		1							
<i>Juniperus sabina</i>		1							
<i>Koeleria vallesiana</i>		1			1	1	1	1	
<i>Lathyrus pratensis</i>						1			
<i>Lasepitium latifolium</i> subsp. <i>nevadense*</i>	(CR)		1						
<i>Lonicera arborea</i>		1	1			1			
<i>Marrubium supinum</i>		1						1	1
<i>Malus sylvestris*</i>	(DD)	1							
<i>Ononis aragonensis</i>				1	1				
<i>Ononis spinosa</i>			1		1			1	
<i>Phlomis crinita</i>									1
<i>Pistacia terebinthus</i>			1						
<i>Plantago lanceolata</i>									1

TAXÓN	N.A.	GAM	GEN	MON	DIL	DUR	CAN	POQ	TRE
<i>Plantago radicata</i> subsp. <i>granatensis</i>		1							
<i>Populus nigra</i>						1			
<i>Potentilla reuteri</i> *	(NT)	1				1			
<i>Prunus avium</i> *		1	1						
<i>Prunus dulcis</i>			1						
<i>Prunus mahaleb</i>		1							
<i>Prunus ramburii</i>		1							1
<i>Ptilostemon hispanicus</i>							1		1
<i>Quercus coccifera</i>			1						
<i>Quercus faginea</i>			1						
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i>		1		1		1	1	1	1
<i>Quercus pyrenaica</i> *	(NT)	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Retama sphaerocarpa</i>				1					
<i>Rhammus catharticus</i> *	(EN)	1							
<i>Ridolfia segetum</i>			1						1
<i>Rosa canina</i>		1	1	1	1	1		1	1
<i>Rosa corymbifera</i>		1							
<i>Rosa micrantha</i>									1
<i>Rosa pouzinii</i>		1							
<i>Rosa sicula</i>		1							
<i>Rubus ulmifolius</i>		1	1		1	1			1
<i>Rumex induratus</i>					1				
<i>Salix caprea</i> *	(EN)			1					
<i>Sanguisorba minor</i>		1			1			1	
<i>Santolina rosmarinifolia</i> subsp. <i>canescens</i>					1				
<i>Santolina rosmarinifolia</i> subsp. <i>rosmarinifolia</i>		1	1						
<i>Scabiosa turolensis</i>		1							
<i>Sedum forsteranum</i>		1							
<i>Sedum sediforme</i>		1							1
<i>Silene mellifera</i>				1	1			1	
<i>Smilax aspera</i>			1						
<i>Solidago virgaurea</i>				1					
<i>Sorbus aria</i> *	(NT)	1		1					

TAXÓN	N.A.	CAM	GEN	MON	DIL	DUR	CAN	POQ	TRE
<i>Sorbus torminalis</i> *	(EN)		1						
<i>Taxus baccata</i> *	(VV)	1	1	1	1	1			
<i>Teucrium capitatum</i>				1					
<i>Teucrium similitum</i>		1							
<i>Thymus mastichina</i>		1			1		1		1
<i>Thymus serpylloides</i> subsp. <i>serpylloides</i>							1		1
<i>Thymus zygis</i>								1	1
<i>Vicia</i> sp.			1	1		1			
<i>Vinca difformis</i>					1				
		58	31	36	33	34	15	17	36



ANEXO 3. DIVERSIDAD DE INSECTOS DEFOLIADORES Y DE INSECTOS GALLÍCOLAS IDENTIFICADOS EN EL MARCO DEL PROYECTO LIFE ADAPTAMED EN EL ROBLEDAL DE SIERRA NEVADA

NOMBRE CIENTIFICO	CLASE	ORDEN	FAMILIA
Insectos Gallícolas			
<i>Aceria ilicis</i>	Arachnida	Prostigmata	Eriophyidae
<i>Andricus foecundatrix</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Andricus solitarius</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Andricus curvator</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Andricus quercusramuli</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Biorhiza pallida</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Cynips divisa</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Neuroterus quercusbaccarum</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Neuroterus anthracinus</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Neuroterus numismalis</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
<i>Trigonaspis brunneicornis</i>	Insecta	Hymenoptera	Cynipidae
Insectos defoliadores			
<i>Agriopis leucophaearia</i>	Insecta	Lepidoptera	Geometridae
<i>Archips xylosteana</i>	Insecta	Lepidoptera	Tortricidae
<i>Catocala nymphagoga</i>	Insecta	Lepidoptera	Erebidae
<i>Catocala nymphaea</i>	Insecta	Lepidoptera	Erebidae
<i>Dicycla oo</i>	Insecta	Lepidoptera	Noctuidae
<i>Dryobotodes eremita</i>	Insecta	Lepidoptera	Noctuidae
<i>Dryomyia lichtensteinii</i>	Insecta	Diptera	Cecidomyiidae
<i>Erannis defoliaria</i>	Insecta	Lepidoptera	Geometridae
<i>Gilpinia virens</i>	Insecta	Hymenoptera	Diprionidae
<i>Lymantria dispar</i>	Insecta	Lepidoptera	Erebidae
<i>Orthosia cruda</i>	Insecta	Lepidoptera	Noctuidae
<i>Tortricodes alternella</i>	Insecta	Lepidoptera	Tortricidae
<i>Tortrix viridana</i>	Insecta	Lepidoptera	Tortricidae

GLOSARIO

Glosario resumido de términos forestales incluidos en el manual. Se incluyen los sinónimos (Sin.) y los términos en inglés (I): Fuente: Sociedad Española de Ciencias Forestales (http://secforestales.org/diccionario_forestal_secf)

Apeo: Acción y efecto de apear. Acto de cortar uno o varios árboles en pie. Sin.: corta. (I: *tree felling*).

Brinzal: Árbol joven procedente de semilla, de pocos metros de altura y menos de ocho o diez centímetros de diámetro a la altura del pecho, que crece vigorosamente, sin ramas secas, más que alguna ocasionalmente. (I: *sapling, seedling*).

Cambio climático: Cambio en las condiciones habituales del clima de un lugar, debido a causas externas a la dinámica atmosférica como por ejemplo, el aumento de emisiones de dióxido de carbono o el de partículas en suspensión. Podría limitarse a un ámbito local o comarcal, pero la persistencia de las causas y la generalización de los efectos acaso darían lugar a un cambio global. (I: *climatic change*).

Cambio global: conjunto de cambios ambientales que se derivan de las actividades humanas sobre el planeta con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema. (I: *global change*).

Clara: Corta que se hace en un rodal regular, con el objetivo de mejorar la estabilidad y calidad de la masa, eliminando los pies peor conformados, obteniendo productos maderables, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los pies remanentes. Sin.: entresaca (en lenguaje coloquial). (I: *thinning*).

Clara alta: Clara que afecta principalmente a pies del estrato dominante. Su ejecución requiere el señalamiento previo de los pies que serán favorecidos. Sin.: alta, clara francesa, clara por lo alto. (I: *high thinning, crown thinning, thinning from above*).

Clara baja: Clara que afecta principalmente a pies del estrato dominado. Sin.: baja, clara por lo bajo. (I: *low thinning, thinning from below*).

Clareo: Corta que se hace en un rodal regular, en estado de repoblado o monte bravo, con el objetivo de mejorar la estabilidad de la masa, sin obtener productos maderables, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los pies remanentes. (I: *cleaning, thinning of a young pole wood, precommercial thinning*).

Chirpial: Planta procedente de un brote de cepa o raíz. Vástago nacido de una yema adventicia o durmiente cerca de la base de una planta leñosa que ha sido cortada. (I: *coppice shoot*).

Corta de policía: Corta selectiva de pies muertos, enfermos o mal situados en una masa forestal. (I: *sanitation cutting, sanitation felling*).

Corta de saneamiento: Extracción de árboles muertos, dañados o debilitados, principalmente para impedir la propagación de plagas o patógenos y facilitar de esta manera el saneamiento forestal. (I: *sanitation cutting, sanitation felling*).

Desembosque: Fase de la saca en la que se extrae la madera del monte, transportándola hasta una pista, cargadero o playa de apilado, accesible a los medios de transporte viario o fluvial. (I: *hauling off, skidding*).

Efectos alelopáticos: Rechazo o antibiosis entre vegetales originado por la aportación al terreno, por uno de ellos, de sustancias que resultan nocivas, causando daño o enfermedad, a otras que con ellas conviven, tendiendo a evitar su establecimiento o a eliminarlos si antes se encontraban en la localidad. (I: *allelopathic effects*).

Epicótilo: En la plántula de los vegetales con flores, el primer entrenudo que se halla por encima de los cotiledones. (I: *epicotyl*).

Especie relicta⁴⁹: Cuando un vegetal constituye una reliquia de la flora que existió en un lugar determinado hace mucho tiempo; en general los relictos corresponden a unas condiciones ambientales que, en el momento actual, no se presentan en la zona donde sobreviven. (I: *relict species*).

Especie singular: especie que merece una mención especial, en un ámbito territorial determinado, por su endemidad o por tener un área de distribución muy restringida sin estar amenazada (nota de los autores). (I: *singular species*).

Gestión adaptativa: es un enfoque sistemático para mejorar la gestión de los recursos naturales aprendiendo de los resultados de la gestión. Se trata de un marco conceptual que utiliza una batería de metodologías caracterizadas por aceptar la complejidad como inherente a los sistemas naturales, y aceptar la incertidumbre, admitiendo que todas las intervenciones de gestión son experimentos en los que hay que “aprender haciendo”. (I: *adaptive management*)

Monte alto: Selv. Masa arbórea nacida de semilla. Terreno ocupado por una masa de estas características. (I: *high forest, seedling forest*).

Monte bajo: Selv. Masa arbórea compuesta por pies procedentes de brotes de cepa y/o de raíz. (I: *coppice forest, low forest*).

Monte medio: Selv. Monte que se renueva tanto a partir de semillas como de brotes, es decir, el formado por brinzales y chirpiales. Cf. monte bajo, monte alto, monte bajo con resalvos. (I: *coppice-wiht-standars forest, composite forest*).

Poda: Supresión de las ramas vivas y muertas en los árboles en pie con diferentes objetivos. Técnica de cultivo que consiste en regular la forma y la producción de los árboles y otras plantas, mediante eliminación por corte, o por otros procedimientos conducentes al mismo fin, de partes de las mismas. (I: *pruning*).

Puntiseco: Árbol con la guía muerta a consecuencia de alguna lesión, enfermedad o deficiencias en el aporte de agua o nutrientes. (I: *top drying, top kill*).

Radícula: Rudimento de la raíz, ya diferenciado en el embrión. (I: *radicle*).

Resalveo: Tratamiento del monte bajo, por el que se reservan ciertos vástagos de chirpiales para su aprovechamiento en cortas posteriores. (I: *coppice with standars*).

Resalveo de conversión en monte bajo: Conjunto de operaciones, basadas en un plan de claras por lo bajo, que se aplican a un monte bajo regular para conducirlo a un fustal sobre cepa. (I: *conversion by thinning on coppice*).

Residuos forestales: Residuos procedentes de entresacas, clareos, podas, apeos finales, etc., que permanecen en el monte al terminar un aprovechamiento forestal. Los residuos forestales pueden dividirse en dos grandes grupos: el material ligno-celulósico y las hojas. El primero puede ser quemado. Los segundos contribuyen, de forma muy importante a la regeneración del suelo y su extracción puede provocar un rápido empobrecimiento del mismo. Sin.: residuo de corta. (I: *forest wastes*).

Resiliencia: Capacidad de un sistema para recuperar sus condiciones o características anteriores a una alteración, tras cesar ésta. (I: *resilience*).

Selvicultura: Teoría y práctica sobre el establecimiento, desarrollo, composición, sanidad, calidad, aprovechamiento y regeneración de las masas forestales, para satisfacer las diversas necesidades de la sociedad, de forma continua o sostenible. Sin.: silvicultura. (I: *silviculture*)

Servicios ecosistémicos: los servicios ecosistémicos son aquellos beneficios que un ecosistema aporta a la sociedad y que mejoran la salud, la economía y la calidad de vida de las personas. Los servicios ambientales o ecosistémicos son aquellos servicios que resultan del propio funcionamiento de los ecosistemas. (I: *ecosystem services*).

Vecería: Fenómeno consistente en la irregularidad interanual de la floración y fructificación de las especies forestales. (I: *mast year*).



Beneficiario Coordinador



Beneficiarios asociados



Coofinanciador

