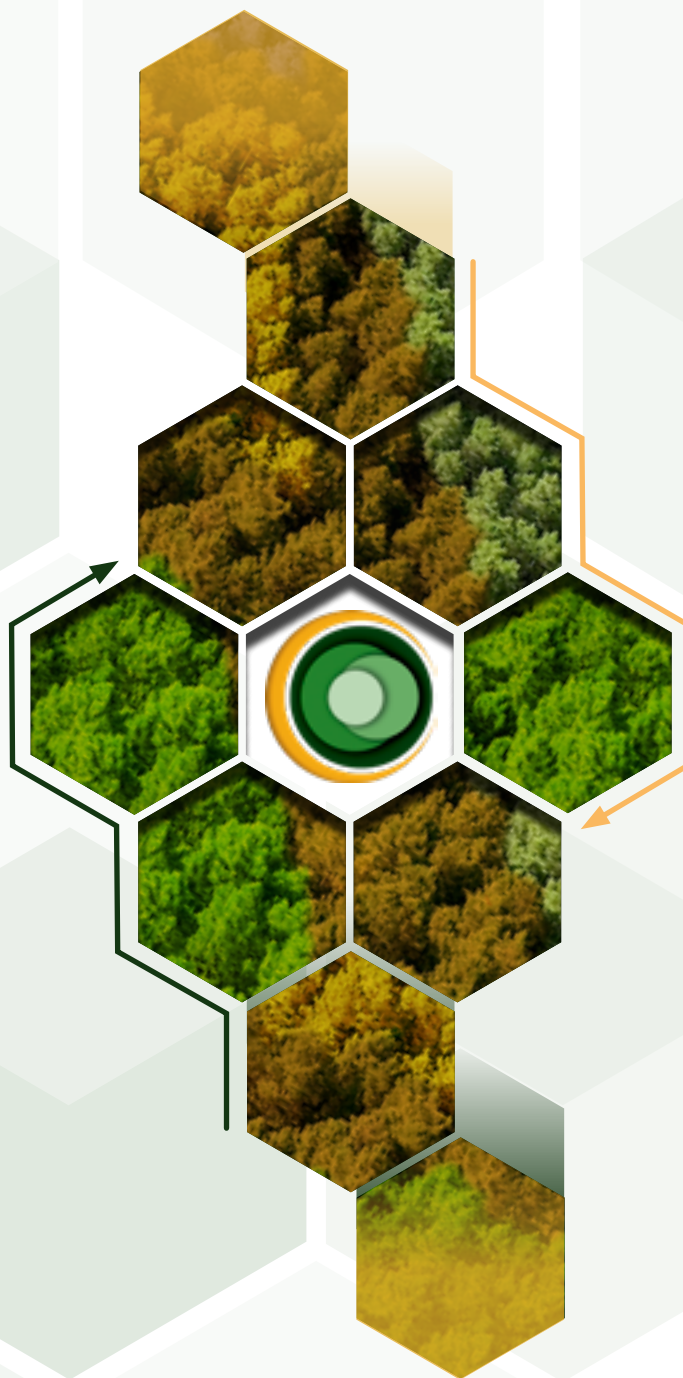


Dispositivo Experimental **FORADMIT**

Descripción del dispositivo experimental del
proyecto FORADMIT: acciones selvícolas para
la diversificación de pinares artificiales





Descripción del dispositivo experimental del proyecto FORADMIT: acciones selvícolas para la diversificación de pinares artificiales

Asistencia Técnica:



Lignum
Gestión
Forestal s.l.



© Textos y fotografías:

Juan A. Oliet Palá
Agustín Rubio Sánchez
Alfonso San Miguel Ayanz
Sergio de Frutos López
David Barrero Gamonal (Lignum Gestión Forestal s.l.)

Con la colaboración de:

Miguel Rodrigo García
José Luis García Pérez
Javier Tejedor Tejedor
Carmen Avilés Palacios
M^a José Fernández Alonso
Eugenio Díaz-Pinés López de los Mozos
Ana Rodríguez Olalla
Hugo Mas Gisbert
Patricio Valenzuela Celis
Lola Abella Santiago
Alberto Romera
José Alfonso Domínguez
Raquel Benavides Calvo
Jesús Fernández Moya

© Diseño y maquetación:

David Barrero Gamonal (Lignum Gestión Forestal s.l.)

Imprime: financiada con el Proyecto: De plantaciones a bosques a través de la restauración ecológica: una aproximación holística de la gestión forestal hacia la sostenibilidad en escenarios de cambio global (FORTRESS)
PID2021-127241OB-I00

ISBN: 978-84-19516-00-8

Deposito Legal: M-3483-2024





ÍNDICE

Pag.

01. **Contenido y justificación**
de este documento 03

02. **Importancia y vulnerabilidad**
de los bosques y repoblaciones 05

03. **Estrategias de gestión**
de pinares y repoblación 09

04. **Localización y principales**
características de la estación y de
la masa forestal 13

05. **Descripción del dispositivo**
experimental del proyecto
FORADMIT 19

06. **Agradecimientos** 75

07. **Referencias Bibliográficas** 77





01

Contenido y justificación de este documento



Para la consecución de los objetivos científicos de dicho proyecto se diseñaron varios experimentos selvícolas. Algunos de estos objetivos no son alcanzables a corto o medio plazo, por lo que es necesario mantener en el tiempo este dispositivo experimental para permitir incrementar nuestro conocimiento científico y obtener resultados a plazos más largos. Por otra parte, el dispositivo tiene un valor demostrativo como ejemplo de actuaciones selvícolas y de restauración para la diversificación de pinares mediterráneos creados por repoblación. Asimismo, dar a conocer este dispositivo abre las puertas a la colaboración con otros grupos de investigación o gestores en el desarrollo de experimentos

con base en este u otros dispositivos similares. Por tanto, pretendemos no sólo mostrar los resultados de las actuaciones selvícolas sobre la estructura forestal, la diversificación estructural y específica o la regeneración (objetivos iniciales), sino también promover nuevos estudios relacionados, por ejemplo, con la diversidad, flujos y stocks de C en el suelo, etc.

El dispositivo ha sido instalado con la colaboración del Servicio Política de Forestal y Espacios Naturales de Guadalajara, Delegación Provincial de Guadalajara, Consejería de Desarrollo Sostenible, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.



INDICE



02

Importancia y vulnerabilidad de los bosques de repoblación



Al mismo tiempo, los bosques –y su gestión– son claves en la estrategia de mitigación y de adaptación al cambio climático a nivel mundial. En este contexto, la gestión forestal debe promover, por una parte, la adaptación de estos sistemas a las situaciones emergentes, a la vez que optimizar su capacidad para mitigar el cambio; y por otra, debe fomentar su transformación en estructuras más complejas, de mayor diversidad y, por tanto, más resilientes, reforzando la estrategia adaptativa.

Pero no todos los sistemas forestales están sujetos al mismo nivel de riesgo y vulnerabilidad. En particular, las masas forestales arboladas de origen artificial

(creadas a partir de repoblaciones) son muy vulnerables a perturbaciones bióticas o abióticas, siendo la silvicultura una herramienta fundamental para reducir la susceptibilidad a dichas perturbaciones e incrementar la provisión de bienes y servicios (*Bauhus et al. 2010*). Dicha vulnerabilidad se extrema en el ámbito mediterráneo, donde ocupan grandes extensiones. Concretamente, en España, los bosques generados al amparo del **Plan General de Repoblación Forestal de España** (PGRFE) con finalidad protectora suman cerca de 4 millones de hectáreas (*Vadell et al. 2017*), lo que supone una cuarta parte de las masas forestales del país, siendo por tanto fundamentales desde los





puntos de vista ecológico, social y económico. Tanto por sus características dinámicas (en fase final de exclusión de fustes), genéticas (creadas a partir de un material forestal de reproducción a menudo de procedencia desconocida), selvícolas (coetáneas, monoespecíficas y con altas espesuras) y ecológicas (situadas en el punto caliente del cambio climático del mediterráneo), las masas del PGRFE son altamente susceptibles a perturbaciones como incendios,

daños por plagas y enfermedades, y sequías intensas.

Dada su importancia y vulnerabilidad, estos sistemas forestales deben ser objeto de atención preferente, promoviendo actuaciones urgentes, pero con base científica en un contexto de gestión adaptativa. El proyecto **FORADMIT** pretende aportar estas bases mediante un conjunto de ensayos selvícolas en un dispositivo experimental situado en la Sierra Norte de Guadalajara.









03

Estrategias de gestión de pinares de repoblación



Desde el punto de vista dasocrático, se plantean diversas estrategias de planificación que se agrupan en dos tipos de actuaciones (*Oliet et al. 2005*):

1

La transformación del pinar en una masa diversificada estructuralmente, anticipando su regeneración y promoviendo un escalonamiento de edades hacia la distribución normal de clases de edad en el que la especie de pino constituya el taxón dominante. Las actuaciones fundamentales serán los tratamientos de regeneración (cortas finales) que por lo general se desarrollarán con el método de entresaca por bosquetes.

2

La conservación del dosel de pinar durante al menos un turno de transformación, promoviendo su diversificación estructural y específica hacia un pinar maduro

multiestratificado y diverso en el que las clases de edad más viejas correspondan al pinar. Las actuaciones fundamentales a llevar a cabo serán claras (cortas intermedias) y, si es necesario, plantaciones bajo cubierta.

Dada la diversidad de situaciones de partida en los pinares mediterráneos de repoblación, la elección de una u otra estrategia dasocrática depende del contexto. Incluso ambas podrían coexistir en la ordenación de montes extensos y diversos donde aplicar dichas estrategias por cuarteles, o en un esquema de ordenación por rodales.







En este proyecto se ensayan los tratamientos selvícolas para ambos modelos de planificación. El dispositivo experimental contiene por tanto parcelas donde se han aplicado tratamientos (I) **de claras** y (II) **de entresaca por bosquetes**. Las plantaciones bajo cubierta se han realizado bajo los ensayos de claras. Asimismo, FORADMIT pretende evaluar los stocks de C en el sistema, así como la dinámica del mismo en respuesta a las diferentes actuaciones ensayadas. Por ello, el dispositivo incorpora elementos para su evaluación, y se caracteriza el nivel de base de C en suelo y biomasa.







04

Localización y principales característica

de la estación
y de la masa
forestal

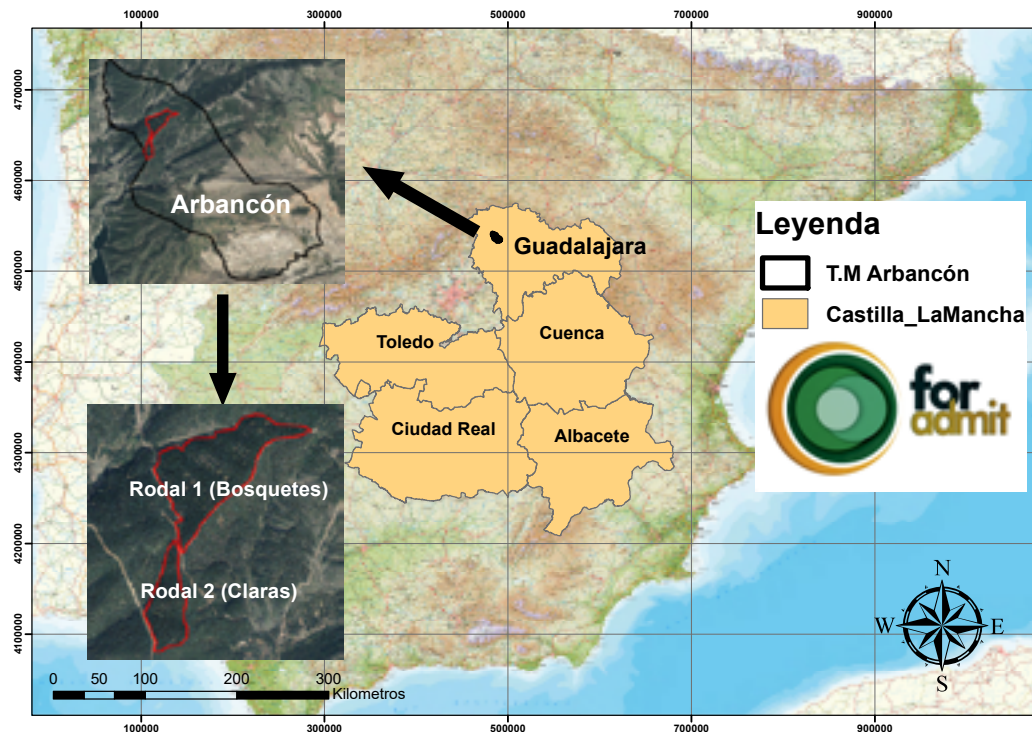


Figura 1. Localización de los rodales dentro del Término Municipal de Arbancón en la provincia de Guadalajara y ubicación de los rodales donde se realizarán los experimentos de claras y bosquetes



ÍNDICE

Esta zona pertenece a un clima Csb de Koppen (templado con verano seco y templado), y se sitúa en el piso bioclimático supramediterráneo con ombroclima subhúmedo. La precipitación media anual es de 652 mm, y la temperatura media anual de 11,5°C . La Figura 2 recoge el climodiagrama a partir de los datos climáticos referidos.

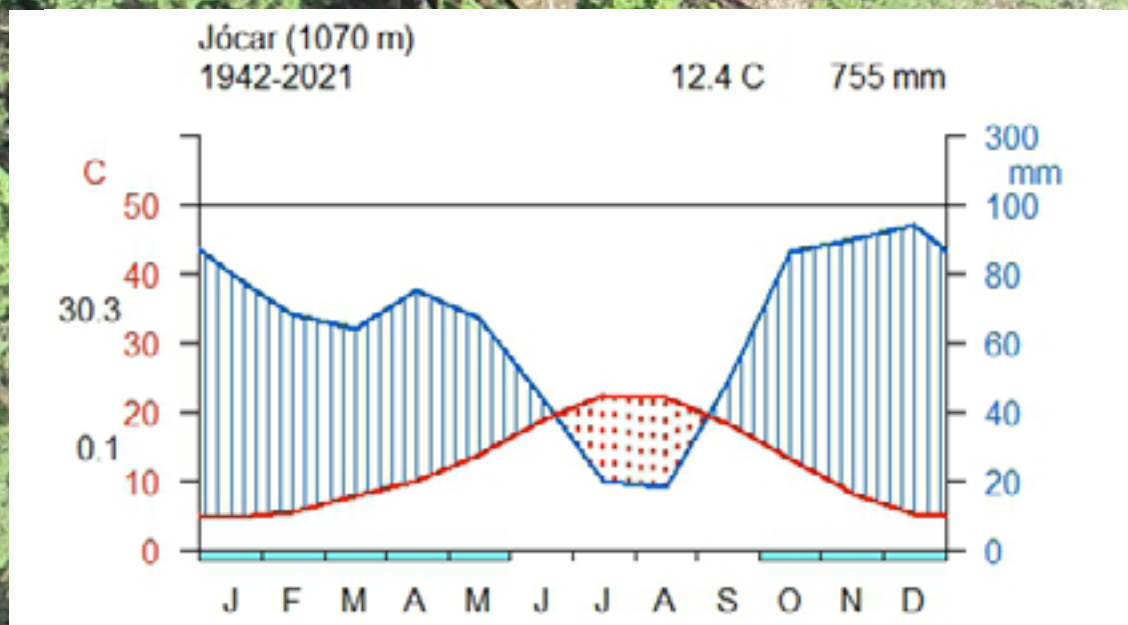


Figura 2. Climodiagrama de la zona experimental

En cuanto al suelo, según la clasificación de la FAO (1988), los grupos principales de suelos son umbrisoles y alisoles. La densidad aparente del suelo es 1.45 ± 0.09 g cm⁻³ y su textura es franca limosa (arena=30.9 $\pm$ 2.7 %, limo= 51.3 $\pm$ 1.8 % y arcilla=17.8 $\pm$ 3.6 %). El pH es 5.32 $\pm$ 0.13 y la conductividad eléctrica es 0.34 $\pm$ 0.06 dS m⁻¹, mientras que la concentración de materia orgánica es 1.45 $\pm$ 0.50 %, la de nitrógeno es 0.07 $\pm$ 0.01 %, la de fósforo es 7.84 $\pm$ 0.86 mg kg⁻¹ y la de potasio es 75.4 $\pm$ 18.0 mg kg⁻¹.

La vegetación dominante en la zona de trabajo es el pinar de repoblación que se describe en párrafos siguientes. Bajo el pinar existe además un sotobosque leñoso variable en composición, cobertura y talla. Las especies

arbóreas del sotobosque lo forman en su mayoría rebrotadoras tardías en fase de plántula, de talla baja, en forma de regenerado a la espera o brotes de cepas de edad indeterminada. Predomina la encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), seguida del quejigo (*Quercus faginea* Lam.) y el enebro de la miera (*Juniperus oxycedrus* L.). Las especies leñosas arbustivas más abundantes del sotobosque, por orden de abundancia son: *Salvia rosmarinus* Spenn. (romero), *Cistus ladanifer* L. (jara pringosa), *Cistus laurifolius* L. (estepa), *Daphne gnidium* L. (torvisco), *Rosa* sp. (rosal silvestre), *Crataegus monogyna* Jacq. (majuelo), *Erica scoparia* L. (brezo), *Erica arborea* L. (brezo) y *Rubus ulmifolius* (Figura 3).



Figura 3. Ejemplos de vegetación en el sotobosque del pinar de la zona de estudio: A) Zona con predominio de romero; B) Sotobosque ausente; C) Regenerado de quejigo; D) Regenerado de rebollo; E) Regenerado de encina; F) Ejemplares de encina sobresalientes en el sotobosque; G) Ejemplar de enebro sobresaliente.





El monte es propiedad de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. El Parque Natural alberga una extensión de casi 30.000 ha de repoblaciones del PGRFE, realizadas entre 1950 y 1971. La zona de estudio fue repoblada con *Pinus pinaster Ait. subsp. mesogeensis* en 1969-1970, por lo que en el momento de instalación del experimento (2017-2018) contaba con **49-50 años** de edad. La preparación del suelo consistió en **acaballonado con desfonde o aterrazado** con subsolado, según las zonas. En general, las densidades de plantación en la comarca superaban los **2.000 pies por ha** (Serrada y Garrachón 2001), aunque no existe información específica de cada polígono repoblado. Por otra parte, según algunos autores, las actuaciones selvícolas han sido nulas hasta mediados de los 90, cuando se inició un plan de claras para la comarca (Curiel et al. 2001). En 2005 aproximadamente se realizó una **clara por lo bajo de peso 28-25 % en área basimétrica**, mayor en número de pies (Curiel et al. 2001), a juzgar por el reparto de tocones en las líneas de plantación (Figura 4).

Es posible sin embargo que se practicara alguna clara con anterioridad, ya que se observan tocones de menor tamaño. Esto y las posibles marras que hayan podido ocurrir tras la repoblación, justificarían las densidades actuales en el pinar de estudio.



Figura 4. Aspecto general de la masa de pino negral antes del ensayo. Se aprecian los caballones y los tocones de las claras realizadas en 2005.





05

Descripción del dispositivo experimental del proyecto FORADMIT



5.1 Dispositivo experimental de claras y plantación bajo cubierta

5.1.1 Introducción y justificación

La estrategia dasocrática de consecución de un pinar maduro estratificado y diverso (ver 3. Estrategias de gestión de pinares de repoblación) requiere garantizar la conservación del pinar durante un periodo largo, que podría cifrarse al menos en un turno de transformación del mismo (80-100 años). El incremento de la esperanza de vida del dosel es muy importante para conseguir la diversificación específica en el sotobosque, tanto artificial como natural, habida cuenta del papel facilitador que juega la cubierta de pinar. La Figura 5 recoge la relación

conceptual entre las claras, las plantaciones bajo cubierta y la diversificación del pinar. Estas masas, como ya se ha indicado, presentan una alta susceptibilidad a perturbaciones como sequías, incendios o plagas. En esta situación, las claras son la herramienta selvícola más poderosa para la reducción de estos riesgos (Serrada 2017). Las claras, al eliminar parcialmente arbolado, liberan espacio vital en la masa, lo que redundará en una mejora del estado de los árboles restantes. En el caso de los pinares artificiales mediterráneos, esto es especialmente importante para reducir el riesgo de estancamiento, mejorar el estado de vigor del arbolado y aumentar la esperanza de vida del dosel. En particular, las claras han demostrado su papel favorable en la mejora de los recursos hídricos de los pinares mediterráneos de repoblación mediante la reducción de la transpiración y las pérdidas por interceptación (Del Campo et al. 2014; Granados et al. 2016), así como en la mejora de la resistencia y resiliencia ante eventos de sequía (Navarro-Cerrillo et al. 2019; Manrique-Alba et al. 2022), o en la diversificación estructural de los rodales forestales y de la composición



florística del sotobosque (*Haughian y Frego 2016*). Por otra parte, las claras modifican las condiciones abióticas en el sotobosque, ya que reducen la competencia intraespecífica pero incrementan la radiación y el sotobosque. De esta forma, las claras pueden

modificar el poder facilitador del dosel, tanto para promover el establecimiento de las plantaciones bajo cubierta como para fomentar la diversificación espontánea con especies tardías (Figura 5).

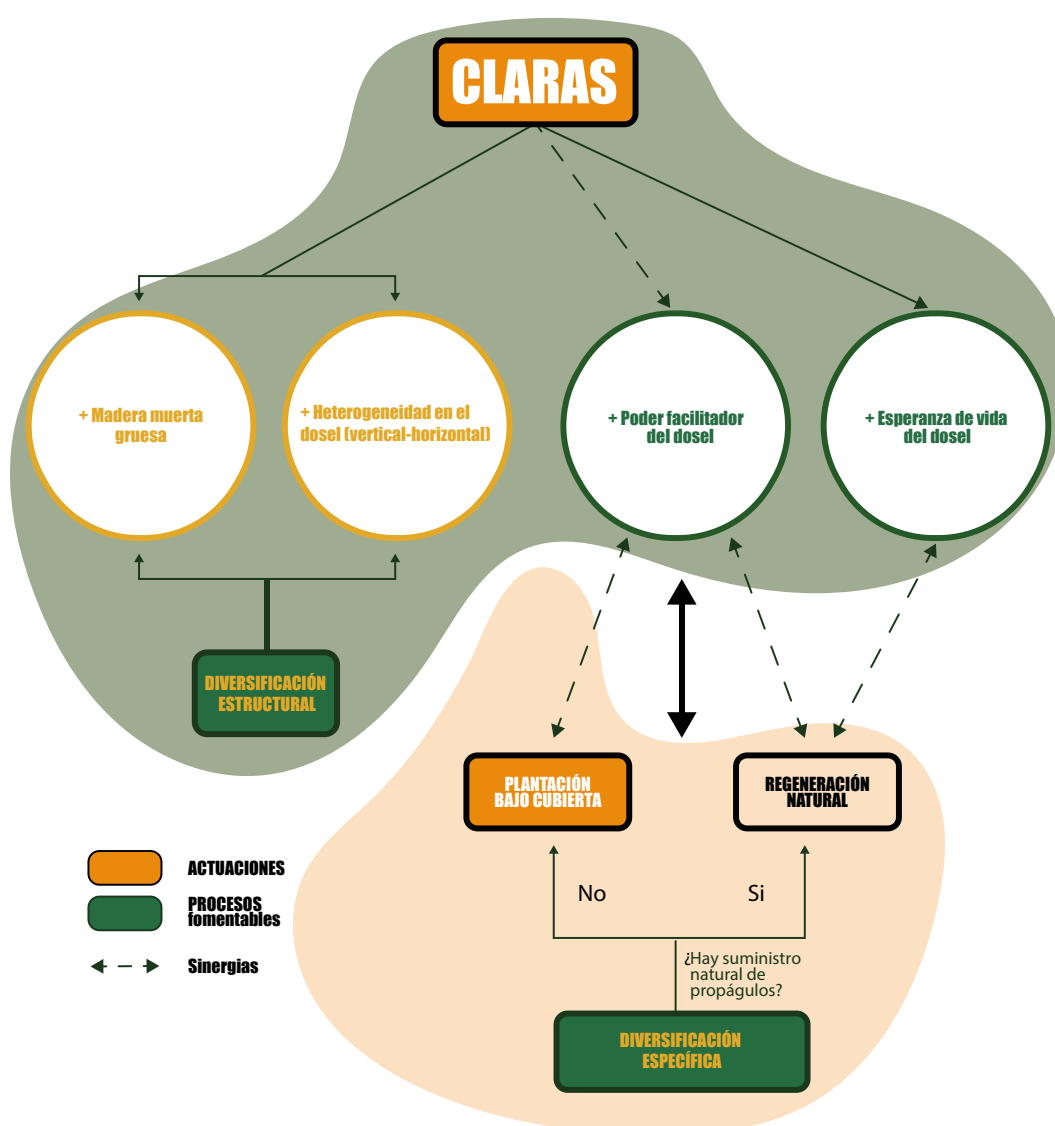
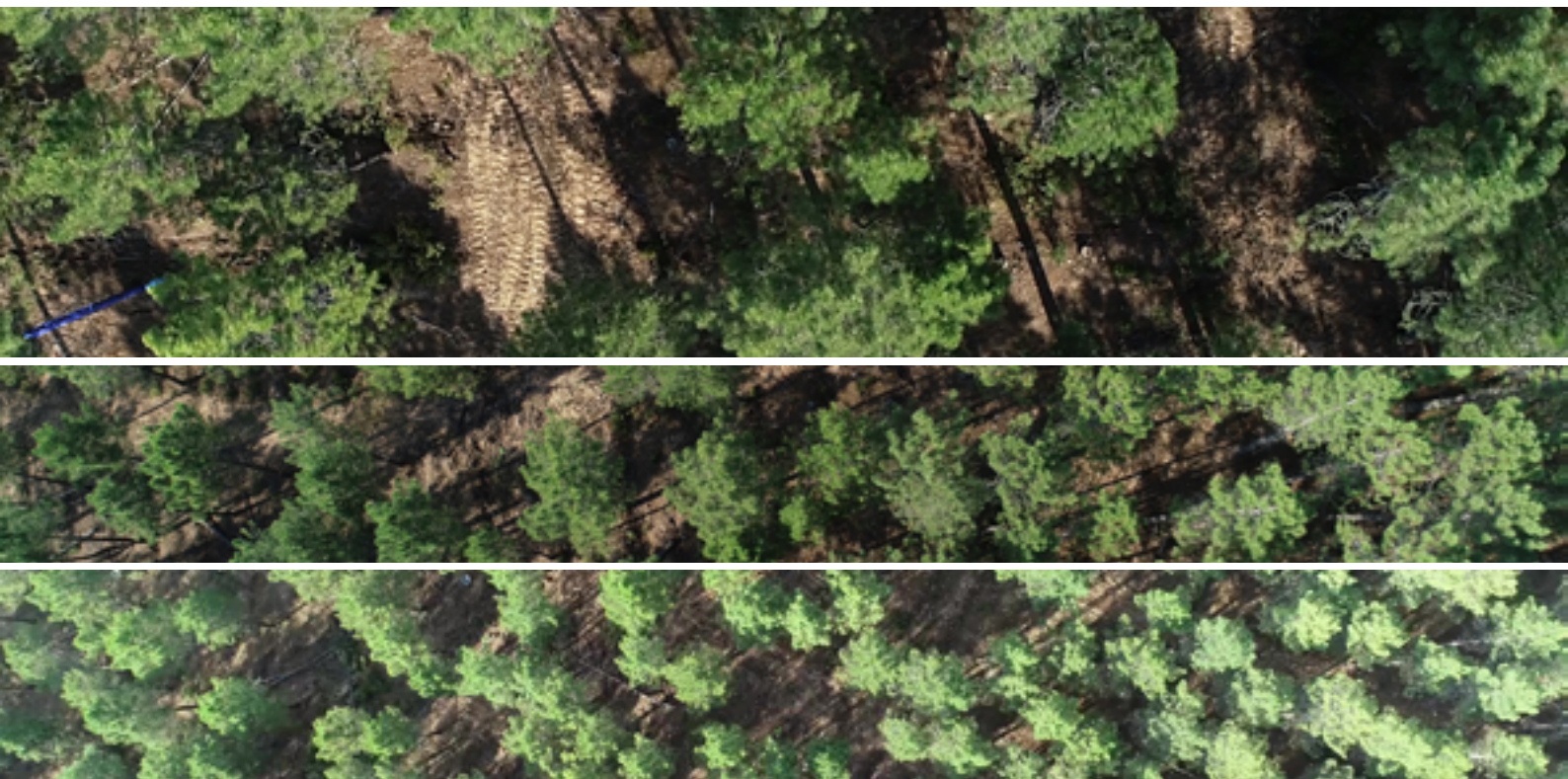


Figura 5. Diagrama dinámico sobre el papel de las claras y las plantaciones en el fomento de procesos de diversificación estructural y específica de pinares de repoblación



Las claras pueden ser **por lo bajo, por lo alto o mixtas**, en función de la clase sociológica a la que orienten su selección. Las claras bajas o por lo bajo son muy frecuentes en España, siendo el tipo que se recomienda generalmente en la gestión de las masas procedentes de repoblación, particularmente por su papel en la reducción del riesgo de incendios al interrumpir la continuidad vertical de combustible (*Serrada 2017*). La principal desventaja de este tipo de claras por lo bajo en repoblaciones es que apenas tienen efecto ni sobre la diversificación estructural del arbolado, ni sobre la diversificación de la composición específica (*Pretzsch, 2009*), particularmente si son de peso débil. Por su parte, las claras por lo alto, también ensayadas en este proyecto, están orientadas a la selección de pies dominantes o co-dominantes del dosel, y son más efectivas a la hora de modificar las condiciones estructurales y la

distribución del espacio vital del rodal. En particular, las claras por lo alto con selección de árboles de porvenir se centran en favorecer a árboles dominantes mediante una liberación efectiva de los mismos, liberación que se produce eliminando pies competidores del árbol de porvenir. Este tipo de claras son más frecuentes en bosques centro-europeos, asociados generalmente a esquemas de producción de madera de alto valor económico (*González-Molina 2006*). Sin embargo, en repoblaciones, estas claras con selección pueden suponer una herramienta de interés a la hora de fomentar la diversificación estructural de masas homogéneas, ya que promueven el desarrollo diferencial de árboles de porvenir y generan condiciones más heterogéneas en el sotobosque (*Verschuyt et al. 2011; Cantiani 2016; Dupont-Leduc et al. 2020*), lo cual podría





incrementar las oportunidades de regeneración natural o artificial del mismo y, por tanto, su diversificación. Sin embargo, existe muy poca experiencia de su aplicación en España (*Serrada et al. 2008*) y, todavía menos, aplicadas sobre pinares artificiales (*del Río et al. 2006*). Es importante, por lo tanto, incrementar el conocimiento de los efectos de las claras con selección de árboles de porvenir en sistemas homogéneos como los bosques plantados (*Zhang et al. 2019*).

Sólo dispositivos como el que se presenta, con ensayos estables y conservados a medio y largo plazo, permiten evaluar estos efectos.

Por otra parte, la falta de elementos del legado biológico en bosques artificiales exige incorporarlos para aumentar la oferta de hábitats y mejorar su diversidad (*Stanturf et al. 2020*). Las claras suministran productos y son fuente también de elementos de ese legado como la madera muerta gruesa. Como es conocido, la madera muerta gruesa tiene una gran importancia en los procesos de dinamización de sistemas simplificados por su papel en la retención de recursos y por constituir microhábitats de refugio y alimento de fauna y flora (*Lindenmayer y Franklin 2002*). Existen pocos dispositivos

experimentales en nuestro país que evalúen los efectos de la madera muerta gruesa en la diversificación de pinares. Además, la madera muerta constituye un depósito duradero de C que puede incrementar el papel mitigador del sistema, aunque también aumente el riesgo de incendio (*Thorn et al. 2020*). El dispositivo experimental incorpora fustes completos apeados procedentes de las claras que se han dejado sobre el suelo.

Asimismo, la diversificación de los bosques de repoblación con otras especies arbóreas o arbustivas es otro de los objetivos a conseguir en la gestión de estas masas, tanto para incrementar su capacidad de mitigación (*Álvarez et al. 2014*), como su resiliencia (*Sheffer 2012*). **Grandes extensiones de los pinares de repoblación del PGRFE no pueden diversificarse espontáneamente, principalmente debido a la ausencia de fuentes de propágulos suficientemente próximas** (*Gómez-Aparicio et al., 2009*), pero también a las condiciones ambientales exigentes en el sotobosque de muchos pinares densos y en fases de exclusión. Por ello se requieren actuaciones de restauración activa como las plantaciones bajo cubierta, que pueden ejecutarse simultáneamente a las claras (Figura 5).

5.1.2 Objetivos del ensayo de claras

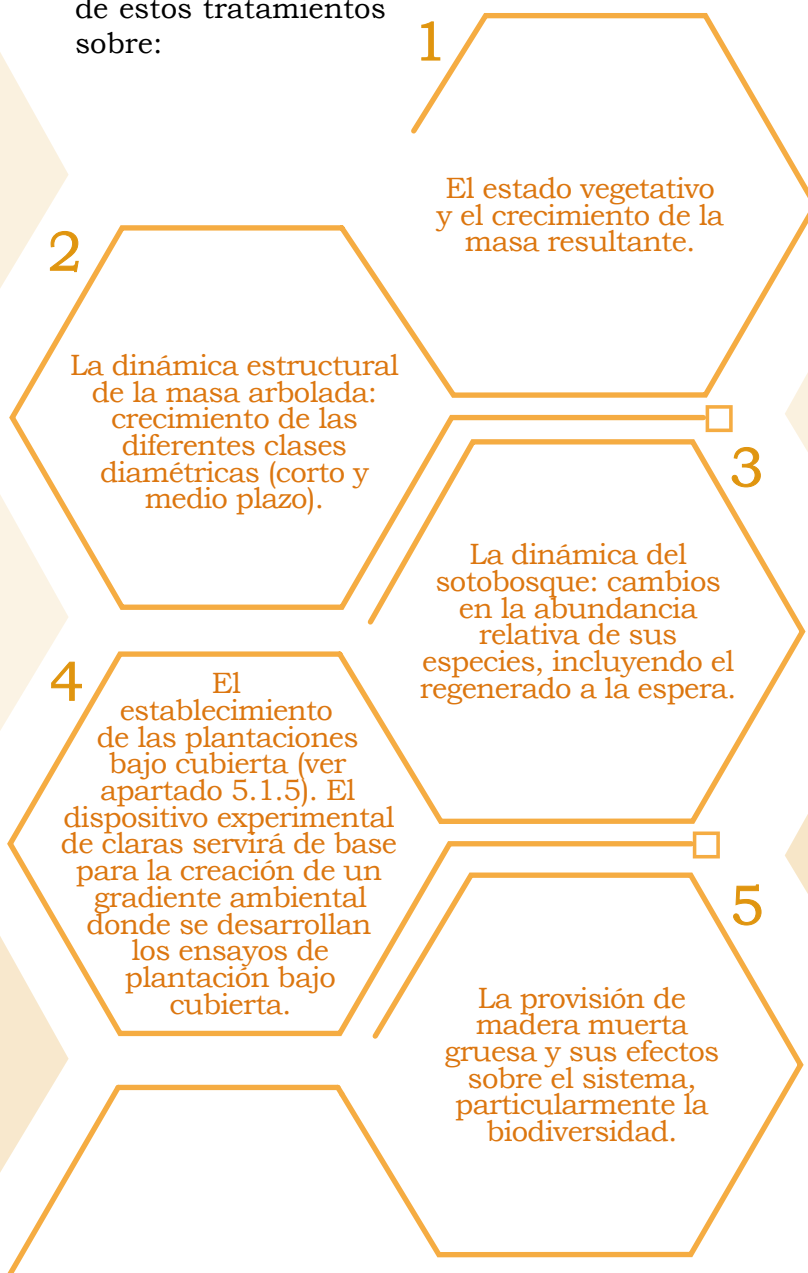


Los objetivos del ensayo de claras se sitúan conceptualmente dentro de la estrategia de gestión para los bosques de repoblación que pretenden su transformación hacia bosques maduros y diversos. La idea clave de esta estrategia es garantizar la viabilidad del dosel a largo plazo, al tiempo que se promueve su diversificación estructural y específica (Figura 5). Para ello se ejecutan claras de diferente peso y tipo (por bajo vs por lo alto)

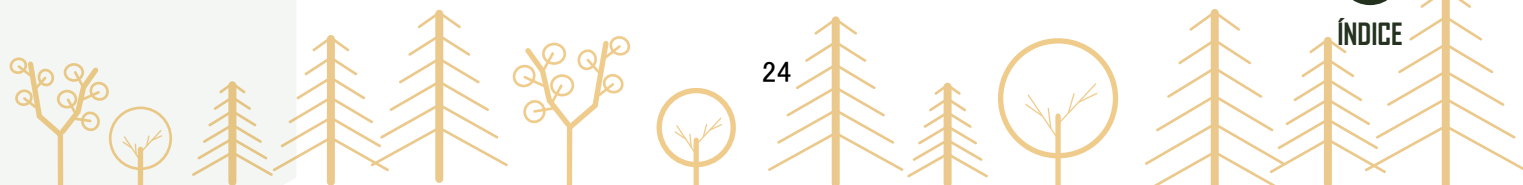




y se evalúa el efecto
de estos tratamientos
sobre:



Se trata de objetivos cuyos resultados más interesantes podrán evaluarse a medio plazo, superando el ámbito temporal de este proyecto, por lo que el ensayo adquiere así la categoría de dispositivo experimental para el seguimiento de cambios temporales continuados en este sistema forestal de pinar artificial.





Etiquetado dentro de parcela donde se aplicó una clara fuerte y se seleccionó árboles del porvenir



INDICE



5.1.3



Metodología: descripción del ensayo de claras



El dispositivo experimental está incluido en un rodal homogéneo de 18,8 ha de *Pinus pinaster* situado dentro del MUP de Júcar, (Figura 1). Sus características básicas de origen están descritas en el apartado 4. *Localización y principales características de la estación y de la masa forestal*. La orientación general de la ladera donde se sitúa el ensayo

de claras es mayoritariamente NW, la cota media es de 1070 m y las pendientes medias están en el entorno del 30%. El inventario realizado en 2017 en las parcelas que constituyen el dispositivo experimental del ensayo de claras arroja los valores dasométricos medios y de dispersión antes de las actuaciones que se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores dasométricos iniciales medios de las 12 parcelas empleadas en el ensayo de claras

N = densidad; *G* = área basimétrica; *V* = volumen maderable; *Dg* = diámetro cuadrático medio; *Hm* = altura media; *Ho* = altura dominante; *RC* = razón de copa; *Hart* = índice de Hart-Becking

	N (pies/ha)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)	Dg (cm)	Hm (m)	Ho (m)	RC (%)	Hart (%)
Media	539,0	36,2	240,9	29,3	13,6	14,7	46,6	29,6
Mínimo	461,0	32,2	196,7	26,8	11,3	11,9	39,4	25,7
Máximo	606,0	40,8	302,9	33,3	15,9	16,9	56,1	35,2
Error estándar	14,0	0,8	10,8	0,6	0,5	0,5	1,4	0,7





El dispositivo experimental se despliega en tres bloques dentro del rodal (Figura 6). Cada bloque lo forman cuatro parcelas cuadradas de 70 x 70 m. En este dispositivo se ensayan claras bajas y claras altas con selección de árboles de porvenir. A cada parcela se aplica uno de los cuatro tratamientos de claras previstos en el proyecto FORADMIT:

- i. **Control**, sin claras.
- ii. **Clara baja de peso moderado a fuerte**: 20 % en área basimétrica.

iii. **Clara baja, de peso fuerte a muy fuerte**: 35 % en área basimétrica.

iv. **Clara alta**, con selección de árboles de porvenir, de peso fuerte a muy fuerte: **35 % en área basimétrica**, con **selección de 100 árboles de porvenir por hectárea** y eliminación de aproximadamente dos competidores por árbol de porvenir.

A su vez, en la mitad de cada una de las parcelas de claras se dejó una cantidad fija de madera muerta gruesa tumbada en el suelo.



El señalamiento de las claras se realizó en julio de 2017. Para las claras por lo bajo el señalamiento se realizó empleando una regla basada en el diámetro máximo de corta, el estado de los árboles y su distribución espacial (Figura 7).

Para la clara por lo alto, el señalamiento se realizó en dos pasadas: la primera para marcar los árboles de porvenir buscando la equidistancia aproximada (10 m de acuerdo con la densidad de árboles de provenir), y la segunda seleccionando los mayores competidores de los de porvenir para la corta. Dado que se trata

de repoblaciones relativamente jóvenes, la diferenciación en el rodal no es aún muy acusada. Los árboles de porvenir fueron seleccionados siempre que se pudo por su carácter dominante y su vigor, aunque en ocasiones el carácter dominante no es claro del todo en vista de la homogeneidad de la masa. Los competidores por su proximidad y capacidad competidora con el de provenir, buscando la liberación lo más efectiva posible de los árboles de porvenir (Figura 8). La Figura 9 recoge el aspecto de la masa tras la aplicación de los dos tipos de clara.

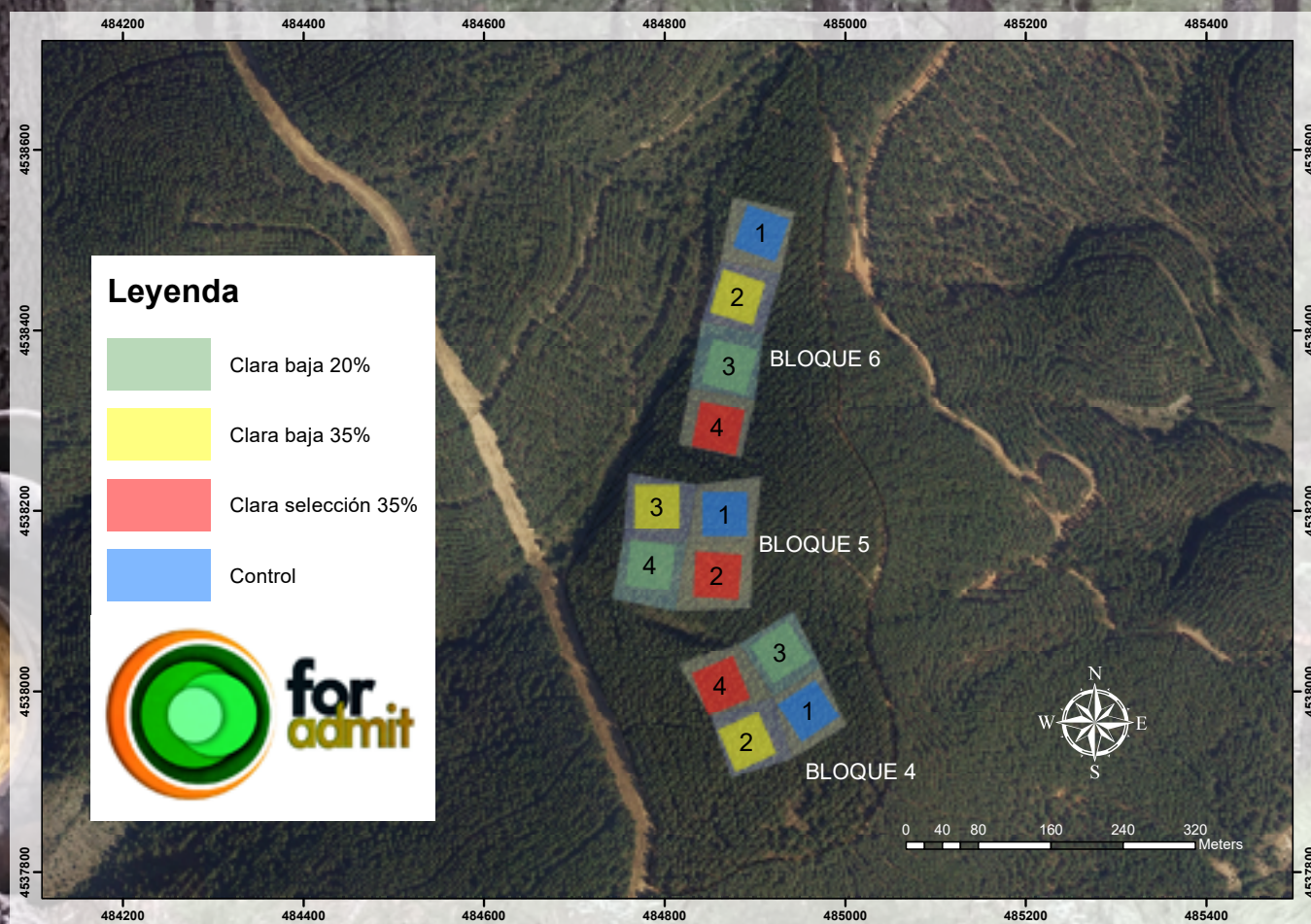


Figura 6. Ubicación de los tres bloques experimentales, cada uno conteniendo cuatro parcelas que reciben los tratamientos de clara experimental



Figura 7. Clara baja señalada. El punto blanco sobre el árbol marca los destinados al apeo. El que contienen dos bandas rojas será apeado posteriormente para formar parte de la madera muerta gruesa del sotobosque.



Figura 8. Clara alta con selección de árboles de porvenir (AP) señalada. El AP está marcado con cinta de baliza. El punto blanco sobre el árbol marca los destinados al apeo. A la derecha del AP marcado, al sol, un árbol que será cortado como competidor.



Figuras 9. Aspecto general de parcela aclarada por clara baja moderada-fuerte (izquierda, 20% ABext) y clara fuerte-muy fuerte con selección de árboles de porvenir (derecha, 35 % ABext).



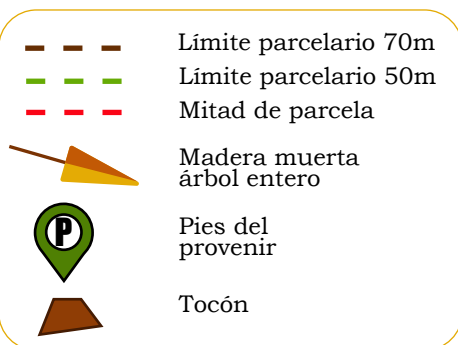


Figura 10; 10.a: croquis de las parcelas experimentales de 70 x 70 m. Zona de borde periferal de 10 m de anchura. Una subparcela de las dos se reserva para albergar pies enteros apeados con la clara que no son extraídos; 10.b: hitofeno para marcar vértice de parcela de 50 x 50 m; 10.c: vista elevada de parcela de claras de 70 x 70 m correspondiente al tratamiento clara baja fuerte-muy fuerte ya ejecutada (parcela 2 Bloque 6, A. San Miguel).

10.b

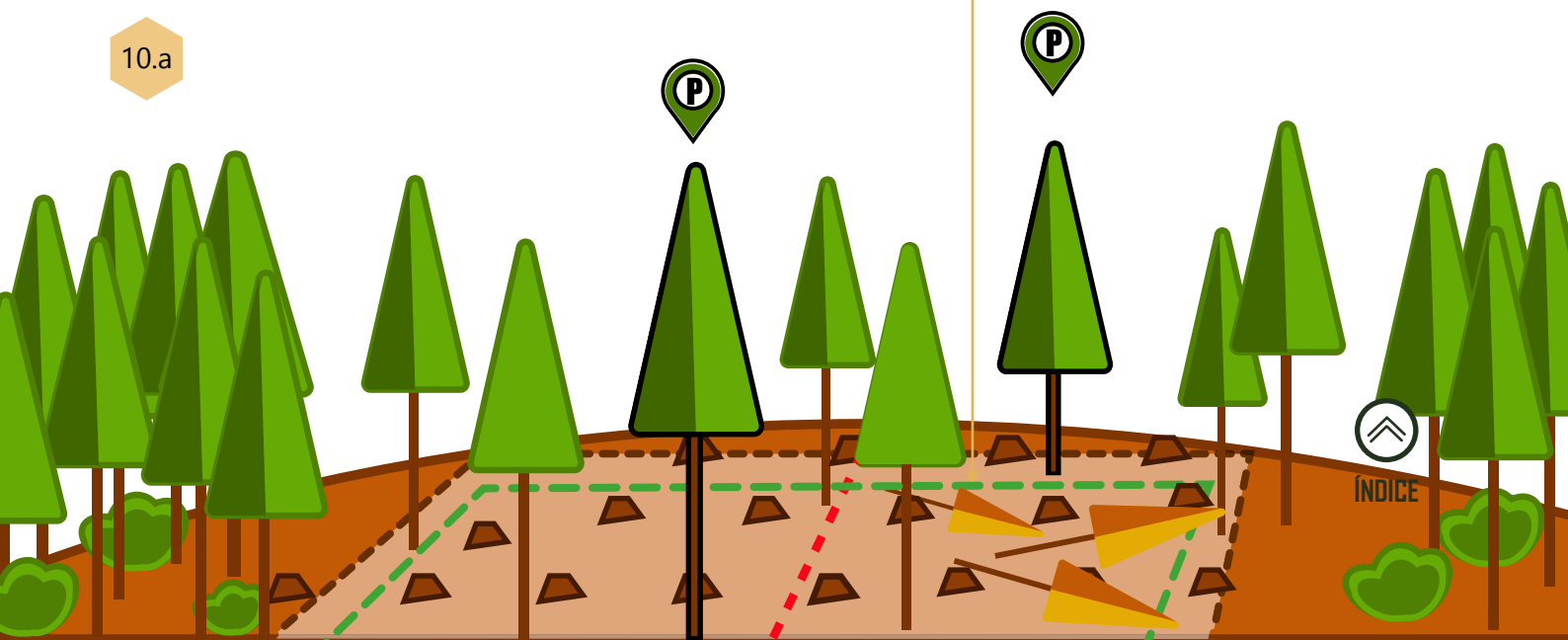


10.c



Madera muerta, árbol entero

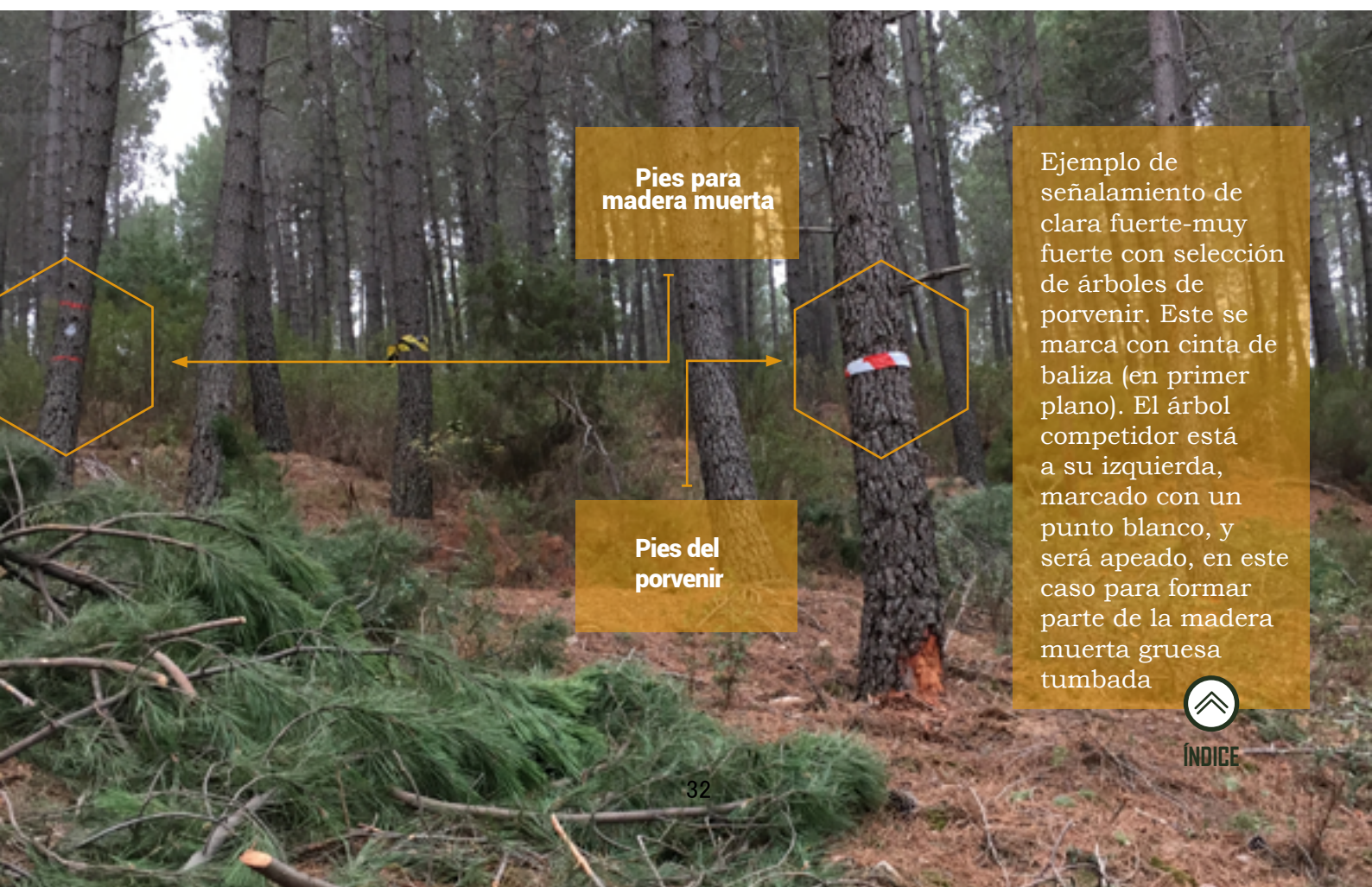
10.a



La ejecución de las claras tuvo lugar de noviembre de 2017 a febrero de 2018. El apeo se realizó con motosierra, y la saca por arrastre con skidder empleando las calles de desembosque preexistentes. Los árboles apeados fueron descopados manualmente y se aprovechó el fuste completo. Los restos de copa (raberones) se eliminaron mediante apilado y quema. De la clara se reservó un conjunto de árboles que no se sacaría del monte, dejándose apeados y tumbados sobre media parcela (Figura 10 y apartado 5.1.4). Estos árboles fueron marcados en pie para no ser apeados con el resto, dado que habrían dificultado la saca de los árboles al ser esta por arrastre con skidder (Figura 7). Tras la quema se procedió al apeo de los árboles señalados para madera muerta que quedaron sobre el suelo. Puede consultarse el apartado

5.1.4 *para mayor detalle sobre la gestión de la madera muerta en el dispositivo experimental.*

La Figura 11 recoge la caracterización dasométrica de la clara por bloques y parcelas experimentales. Como puede observarse, el peso ejecutado en términos de área basimétrica se corresponde bastante bien con el peso teórico, mientras que el correspondiente en número de pies responde a la naturaleza de la clara, siendo mayor en el caso de las claras bajas y similar al correspondiente en área basimétrica para las claras con selección de árboles de porvenir. Esto indica que el tamaño de árbol medio extraído en estas últimas es bastante similar al tamaño del árbol medio de la masa. Esto puede esperarse dado el bajo nivel de diferenciación de partida de la masa.



**Pies para
madera muerta**

**Pies del
porvenir**

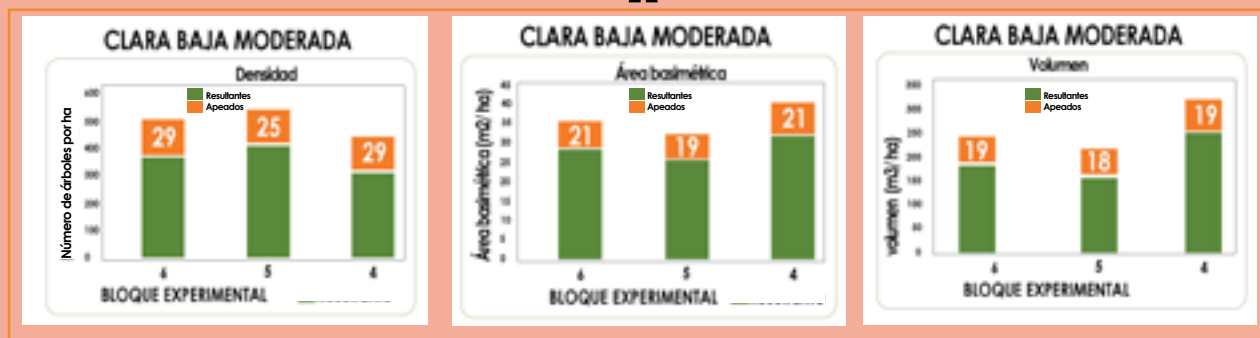
Ejemplo de señalamiento de clara fuerte-muy fuerte con selección de árboles de porvenir. Este se marca con cinta de baliza (en primer plano). El árbol competidor está a su izquierda, marcado con un punto blanco, y será apeado, en este caso para formar parte de la madera muerta gruesa tumbada



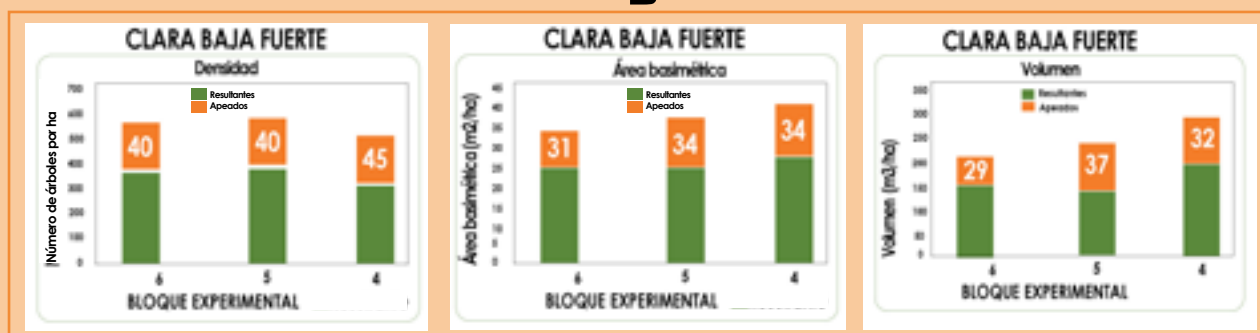
ÍNDICE



A



B



C

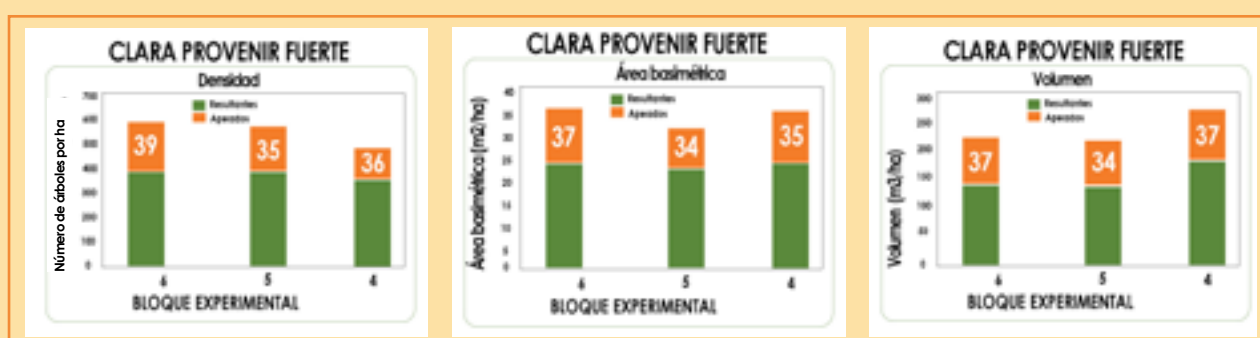


Figura 11. Caracterización dasométrica de las claras efectuadas en las tres réplicas (bloques experimentales). A) Clara baja moderada-fuerte (20 % teórico de área basimétrica; B) Clara baja fuerte-muy fuerte (35 % teórico de área basimétrica; C) Clara con selección de árboles de porvenir fuerte-muy fuerte (35 % teórico de área basimétrica). Los números en la masa apeada corresponden al porcentaje de la clara en peso de esa variable



5.1.4 Reserva de madera muerta gruesa en el ensayo de claras

En cada parcela de claras se dejaron algunos de los árboles apeados en el suelo sin extraer, con objeto de incorporar restos de

madera muerta gruesa al sistema. En total se dejaron **24 m³/ha** cuyo volumen se calculó en pie a partir del diámetro normal del árbol a apear y una tarifa de cubicación. Este valor se determinó tras una revisión bibliográfica analizando valores medios y recomendados para bosques templados (*Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, 2009; Müller y Bütler, 2010*). Teniendo en cuenta el volumen de los árboles, que era variable por bloque experimental, se reservaron entre **11 y 21 árboles por parcela** que se dejaron en el suelo completos, con toda la copa, con objeto de



Figura 12. Arriba: Árboles apeados que se destinarán al fomento de la diversidad formando parte de los restos de madera muerta gruesa. Tras el apeo se dejó el árbol entero, sin descopar. Abaj: vista elevada de parcela de clara, con troncos tumbados en la subparcela de la izquierda (A San Miguel).



acelerar la desecación del árbol y reducir el tiempo de exposición a perforadores (Figura 12). Como se ha indicado, su apeo se realizó en un segundo tiempo tras el apeo y la saca por arrastre de toda la madera aprovechable sin el obstáculo que supone la madera muerta tumbada. Con objeto de contar con dos superficies diferenciadas por parcela

sometidas a sendos tratamientos contrastados de madera muerta, se dejaron los 24 m³/ha en una de las dos mitades de cada parcela. (Figura 10). Cada uno de ellos se ha numerado y se realiza un seguimiento de la evolución del grado de descomposición y otros fenómenos asociados a la presencia de estos restos.

Para caracterizar la dinámica de insectos saproxílicos asociados a la descomposición de madera muerta, se instalaron periódicamente trampas **CROSSTRAP® CON COLECTOR HÚMEDO** (con deslizante) opacas de la empresa Econex S.L. (Figura 13), a las que se aplica atrayente feromonal para incrementar las capturas selectivas. Este conjunto de atrayentes consta de 3 difusores de **atrayerente cairo-feromonal, A, B y C**, con 60 días de duración, envasados individualmente en bolsas de aluminio polilaminado

(DIFUSOR A, conteniendo 25 ml de a-pineno con una pureza del 98%. DIFUSOR B, conteniendo 100 ml de etanol con una pureza del 96%. DIFUSOR C, conteniendo 0,2 ml de ipsdienol/ipsenol (1:1) con una pureza del 96%. Las trampas se han instalado durante los veranos de 2020, 2021 y 2022). Se han colocado un total de 24 trampas durante estos años, 12 en el dispositivo experimental de claras (una en el centro de cada subparcela de 35 x 70 m de madera muerta más en el control sin madera muerta) y otras 12 en una zona de pinar aldeaña que no contiene madera muerta y que no fue aclarada.



Figura 13. Trampa CROSSTRAP para la captura de insectos saproxílicos. A la derecha, detalle de recogida de muestras de ejemplares capturados.





5.1.5 Plantaciones bajo cubierta



5.1.5.1 Justificación

Los ensayos de plantación bajo cubierta de pinar forman parte de las estrategias para la diversificación específica de las masas artificiales mediante la incorporación en el sotobosque por plantación de especies que, según estación, temperamento, velocidad de crecimiento y porte podrán llegar al estrato dominante o configurar subpisos que transformen una masa monoespecífica y coetánea en una masa mixta, más estable y resiliente (Figura 5). Las

actuaciones de plantación se justifican especialmente en pinares donde la diversificación natural está limitada por la distancia del pinar a las fuentes de propágulos.

Estas plantaciones se convertirían así en núcleos de dispersión de estas especies en la matriz de la repoblación que sirvan en un futuro de fuente de propágulos (Villar-Salvador, 2016).

La creación de estos núcleos mediante plantación pretende apoyarse en el papel facilitador que la cubierta de pinar puede ejercer para la supervivencia y el establecimiento de los individuos plantados. Este papel se basa, entre otros aspectos, en la **reducción de la radiación directa** (facilitación directa), la **atenuación de valores ambientales extremos** y la **reducción de la competencia del sotobosque** (facilitación indirecta), cuya potencia se ve reducida por la cubierta de pinar (Mendoza et al. 2009). Pero, por otra parte, el pinar puede ejercer también un efecto de competencia a través de su sistema radical extendido por todo el perfil edáfico.



Todas estas condiciones varían con la cantidad de cubierta disponible, que puede modificarse mediante claras. Sin embargo, el grado de apertura de la cubierta que optimiza dicho papel depende de las especies introducidas y de la estación (Gavinet et al. 2015; Granados et al. 2016). Las especies introducidas deben tolerar condiciones de baja irradiación y

alta competencia hídrica ejercida por el arbolado que ocupa el dosel (Mendoza et al., 2009). Aunque existe experiencia sobre plantaciones bajo cubierta en ámbitos mediterráneos (Hellui et al. 2021; Moghli et al. 2022; Morcillo et al. 2022), es necesario aportar mucha información aún para la optimización de aspectos operativos como la preparación del suelo, las especies a elegir por su capacidad de prosperar en estas condiciones, el tipo y peso de la clara a ejecutar en paralelo a la plantación, los cuidados culturales post-plantación necesarios, etc. Los atributos funcionales de las especies introducidas (enraizamiento, temperamento, resistencia a la sequía, estrategia en el uso de agua, velocidad de crecimiento aéreo inicial, etc.) pueden condicionar la respuesta post-plantación bajo el sotobosque (Granados et al. 2016).

Una adecuada selección de especies permitirá la persistencia y el crecimiento de los núcleos de dispersión introducidos, por lo que los ensayos de especies en este contexto son claves tanto desde el punto de vista científico como demostrativo.

Asimismo, un aspecto importante es también la evolución de estas especies a medio y largo plazo, ya que el objetivo fundamental es que estos individuos lleguen a colonizar una parte del dosel del pinar. Es imprescindible por tanto un seguimiento de su evolución y la programación de nuevos tratamientos de clara que liberen más adelante a las especies introducidas. La instalación del ensayo de claras en el proyecto ofrece la oportunidad inmejorable para la creación del gradiente de espesura que permita ensayar los efectos del dosel sobre el repoblado introducido.

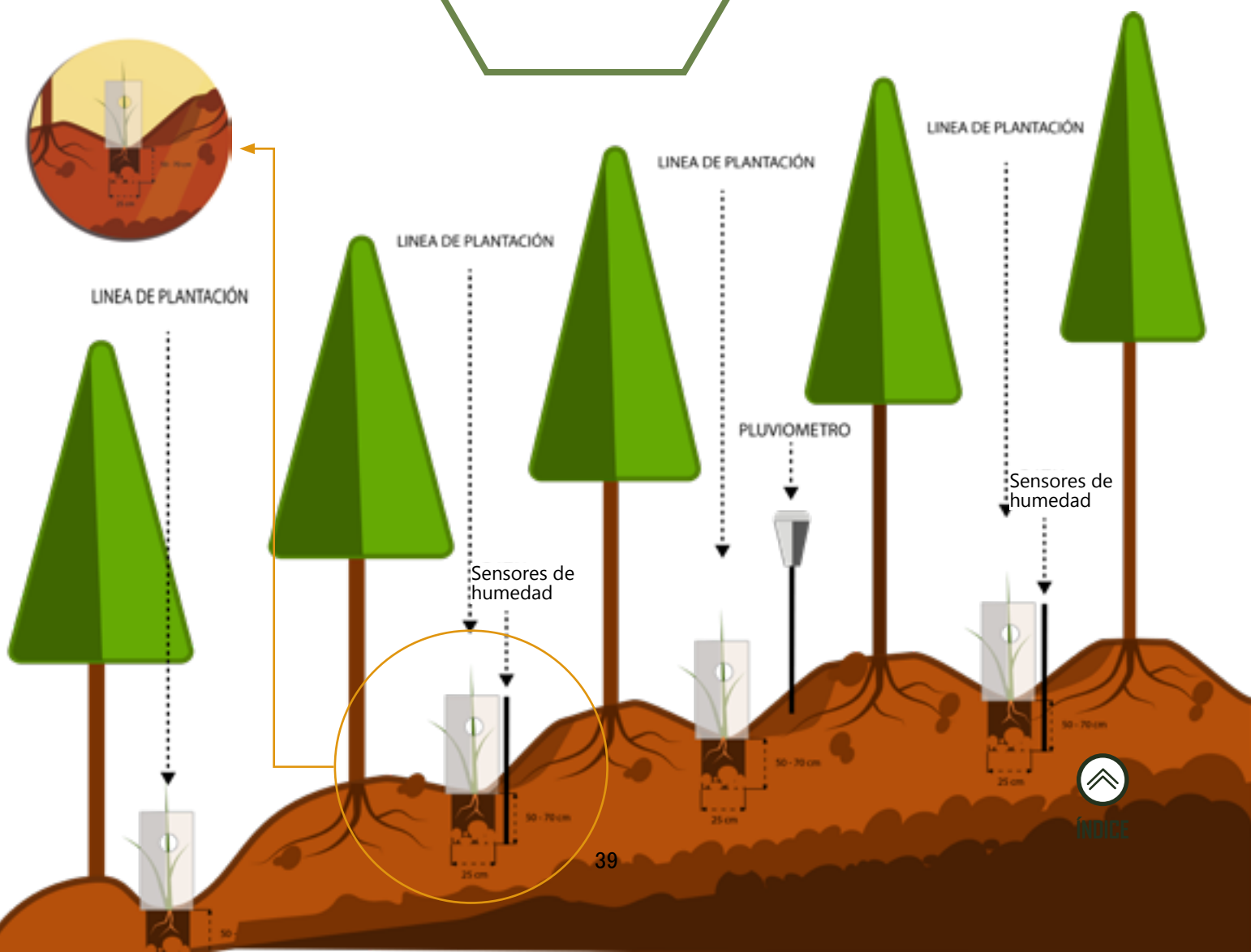


5.1.5.2 Objetivos de los ensayos de plantación bajo cubierta

Con estos antecedentes, el objetivo general de los ensayos de plantación bajo cubierta es caracterizar la respuesta postrasplante de especies introducidas con caracteres funcionales contrastados al gradiente ambiental en el sotobosque creado por las claras. Este objetivo se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar el efecto del peso y tipo de clara sobre el establecimiento de especies forestales bajo la cubierta del pinar de repoblación.

2. Establecer relaciones entre los atributos funcionales de especies forestales (tolerancia, enraizamiento, hábito foliar, removilización de nutrientes, uso del agua) y su respuesta postrasplante (supervivencia, crecimiento y respuesta fisiológica) en las condiciones ambientales bajo cubierta de pinar.



5.1.5.3 Ensayos de plantación bajo el pinar de Júcar

5.1.5.3.1 Instalación de los ensayos de plantación bajo cubierta

Las plantaciones bajo cubierta de pinar se realizaron en la zona experimental de claras en marzo del 2018. En cada una

de las parcelas de clara, que corresponde a una repetición de un tratamiento, se ha plantado un núcleo de plantación, consistente en **15 plantas de cuatro especies dispuestas al azar**. Por tanto, el número de plantas instaladas por parcela de claras ha sido de 60. Las especies empleadas y sus procedencias han sido (Figura 14):

- *Acer monspessulanum*: RIU 20 (Sierra de Guadarrama-Ayllón) y RIU 26 (Serranía de Cuenca)
- *Quercus pyrenaica*: RP ES11 Norte de la Sierra de Guadarrama
- *Quercus ilex*: RP ES08 Sur Sierra de Guadarrama
- *Sorbus torminalis*: Región RIU 21 Alcarrias

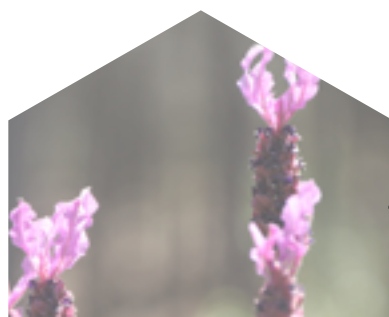


Figura 14. Especies plantadas en los núcleos de dispersión bajo cubierta: *Acer monspessulanum*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus ilex* y *Sorbus torminalis*



La preparación del suelo se realizó con barrena helicoidal operada manualmente por dos personas. Este es el máximo nivel de mecanización de la operación que se ha conseguido, habida cuenta de la dificultad de tránsito a través del arbolado adulto de aperos autoportados por tractores o retroarañas. La profundidad teórica del hoyo fue **aproximadamente de unos 70 cm** (Figura 15), aunque en algunos casos este valor no pudo conseguirse por un exceso de pedregosidad y compactación del suelo. La plantación se realizó en el surco del caballón, situando las plantas a **1,5 m de separación entre ellas**, y empleando unos **4 o 5 surcos paralelos en la ladera** (Figura 15). El número total de plantas instaladas ha sido de **720 plantas** (3 bloques x 4 parcelas x 15 plantas x 4 especies = 720 plantas). A pesar de que se instalaron con **protectores de malla de 60 cm**, se han detectado daños considerables por parte de los abundantes jabalíes. De forma interesante, estos daños han variado grandemente por especies, pasando de un 5 % aproximadamente para el arce

hasta más de un 70 % en las plántulas de rebollo (Figura 15). Por este motivo, en las especies más dañadas (serbal, rebollo y encina) se reemplazaron los protectores de malla por tubos de paredes rígidas de la misma altura. En 2020, se observaron daños por ramoneo de corzo de los individuos cuando salían del tubo, por lo que se instalaron tubos protectores de paredes rígidas y de una altura de 180 cm de alta transmisividad, para reducir el efecto sombreo de los protectores comerciales convencionales (Figura 15).



ÍNDICE

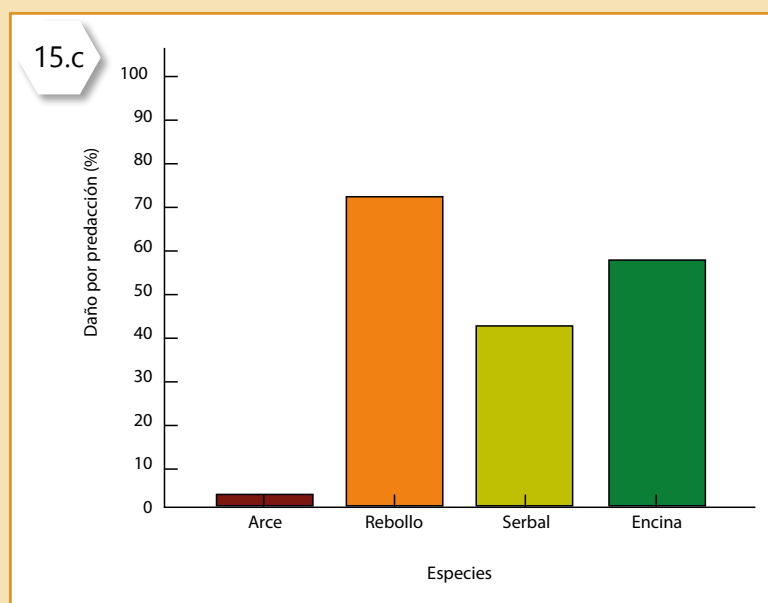
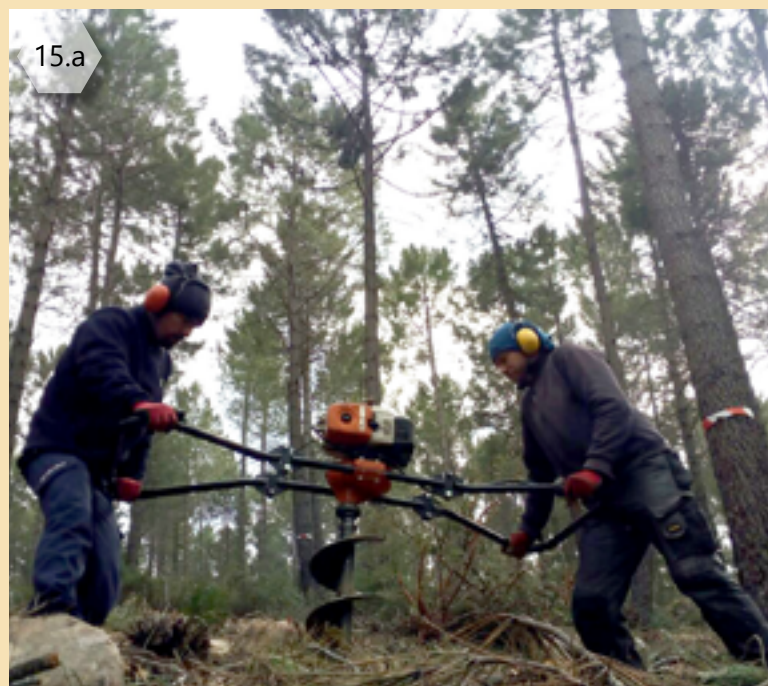


Figura 15; 15.a. Preparación del suelo para la plantación bajo cubierta. 15.b. Aspecto de los núcleos plantados. 15.c. Daños producidos por hozado de jabalí en el primer mes tras la plantación. 15.d. Aspecto de la plantación en 2020, con tubos protectores de 1,80 m instalados para evitar la predación en parte aérea por ungulados. Se colocaron tutores de plástico reciclado que resisten empujes y la degradación.

5.1.5.3.2 Seguimiento de condiciones ambientales

La percolación de la precipitación a través del dosel se midió cada dos semanas desde julio 2018 hasta diciembre 2019. Para ello, se instalaron tres pluviómetros

de tipo **“Hermann”** por parcela de plantación y bloque en una línea diagonal de cada parcela de plantación a 1 m del suelo. Adicionalmente, para calcular la intercepción de lluvia se instalaron tres pluviómetros en un área abierta muy próxima fuera de la cubierta del dosel. Asimismo, se instaló un sensor de temperatura (T, °C) y humedad relativa (HR, %) a una altura de 70 cm por parcela de plantación conectados a un datalogger (U23 Pro v2, Onset Computer Corporation, Inc. Southern MA, USA) para medir estas características microambientales en cada tratamiento de clara (tres sensores de T y HR por cada uno).

La humedad de suelo fue evaluada con la misma periodicidad y tiempos que la precipitación en tres hoyos de plantación seleccionados al azar en cada parcela (36 en total, nueve hoyos por tratamiento de clara). En los hoyos seleccionados se insertaron verticalmente varillas de TDR (Field Scout 100, Spectrum Technologies, Inc., Painfield, IL ®) a 0-20 cm, y para las mediciones de 30-40 cm se utilizaron sensores de humedad modelo HS-10 (Pro Check, Decagon Devices, Inc., Pullman, USA), de 10 cm de largo y dispuestos verticalmente a partir de los 30 cm de profundidad (Figura 16).

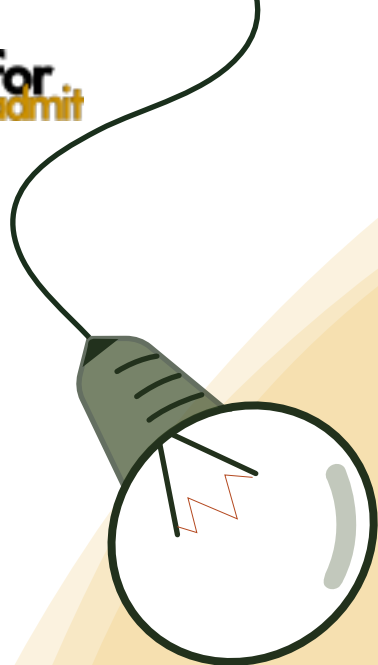


*Figura 16.
Pluviómetros
(izquierda) y
registradores
de datos para
la medida de
la humedad
edáfica
(derecha).*



El ambiente lumínico sobre cada planta se caracterizó mediante fotografía hemisférica, tomando una foto sobre cada arbolito plantado a una altura de 60 cm en posición vertical y la cámara orientada al norte en condiciones de cielo nublado (Figura 17). Se usó una cámara digital (Nikon Coolpix 4500, Japan) de 4MP de resolución y con una lente de

ojo de pez (FC-E9 Nikon, Japan). Las imágenes se procesaron con el software Gap Light Analyzer versión 2.0 para calcular el porcentaje de transmisividad de luz global (Factor Global de Sitio o GSF), que es la suma de la radiación directa y difusa en un punto determinado bajo el dosel en relación con un sitio abierto.



Los resultados de caracterización lumínica del sotobosque indican grandes diferencias en el ambiente de luz entre el sotobosque de la masa no aclarada (valores en torno a 30-35 % de luz) y el resto, con valores algo inferiores al 50 %, siendo pequeñas las diferencias entre tratamientos de clara (Figura 18).



Figura 17. Cámara con ojo de pez orientada verticalmente para captar la fotografía hemisférica (izquierda) y fotografía hemisférica desde la perspectiva de un individuo de las especies introducidas bajo el dosel (derecha).

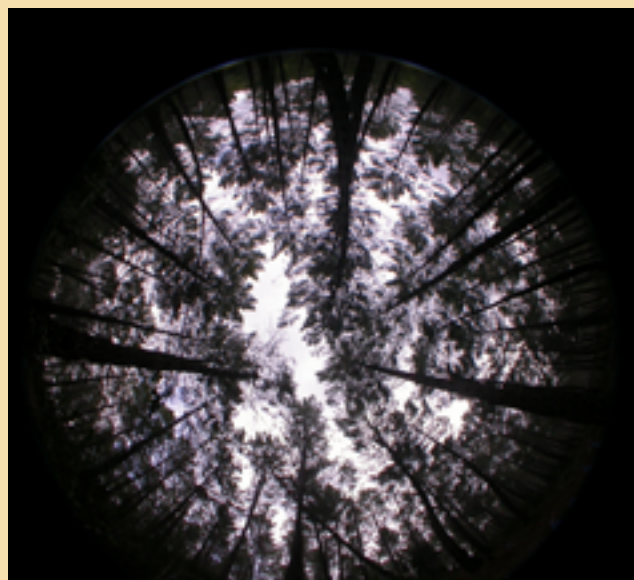
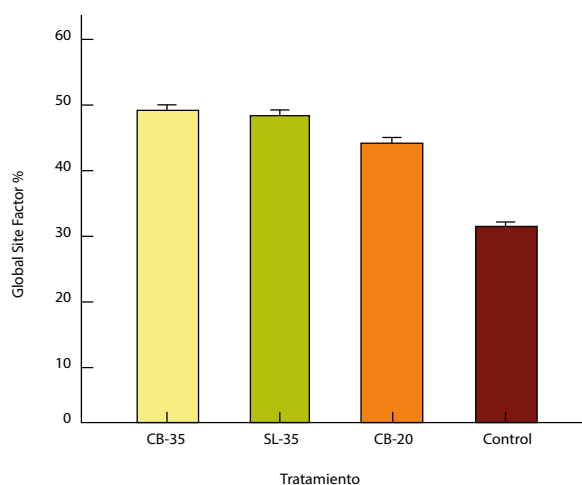


Figura 18. Factor Global de Sitio ($\pm EE$) para los tratamientos de clara. CB = clara por lo bajo; SL = clara con selección de árboles de porvenir, de pesos 35 y 20 % del área basimétrica. Control: parcelas sin aclarar



Para estimar la competencia, se midió la cobertura y altura media de plantas herbáceas y arbustivas en el entorno de las plantas introducidas. La cobertura (%) tanto de herbáceas como de leñosas fue estimada visualmente en un círculo de 0.5 m² en torno a la planta en la época de otoño de 2018 y 2019 (Figura 19). Así mismo, se midió la distancia horizontal desde el pie de pino más cercano a cada individuo plantado. Los resultados indican una mayor cobertura de herbáceas y leñosas espontáneas alrededor de las plantas plantadas en los tratamientos aclarados (alrededor

de 7,5%) que en el sotobosque del control (1,2 %), aunque estas diferencias son aún débiles.



Figura 19. Círculo replanteado alrededor de una planta para estimar competencia

5.1.5.3.3 Mediciones en la plantación

Durante los veranos de 2018 y 2019 se realizaron tres y dos campañas de mediciones fisiológicas, respectivamente, para caracterizar la respuesta de cada especie al gradiente ambiental que constituyen los grados de apertura de la cubierta. En cada medición se evaluó el potencial hídrico al alba y a mediodía y la

fluorescencia al alba (máxima eficiencia fotoquímica a mínimo estrés), a media mañana (eficiencia fotoquímica presente) y a medio día (máxima eficiencia fotoquímica a máximo estrés) (Figura 20).

Asimismo, durante los inviernos de 2018 y 2019 se midieron la supervivencia, la altura y el diámetro basal de todas las plantas vivas. A los tres años de plantación, algunos ejemplares ya han superado la altura del protector (Figura 21).

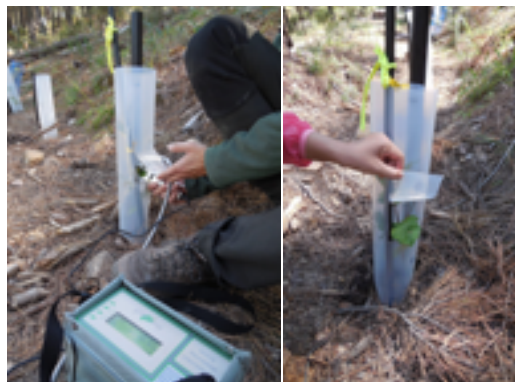


Figura 20. Medición estival de fluorescencia de clorofila en plantas plantadas.



Figura 21. Encina (izquierda) y arce (derecha) de 3 años de edad saliendo del tubo de 1,8 m.







5.1.6 Cronograma de las tareas realizadas



La Figura 22 recoge las actuaciones temporalizadas desde la instalación del experimento hasta la fecha.

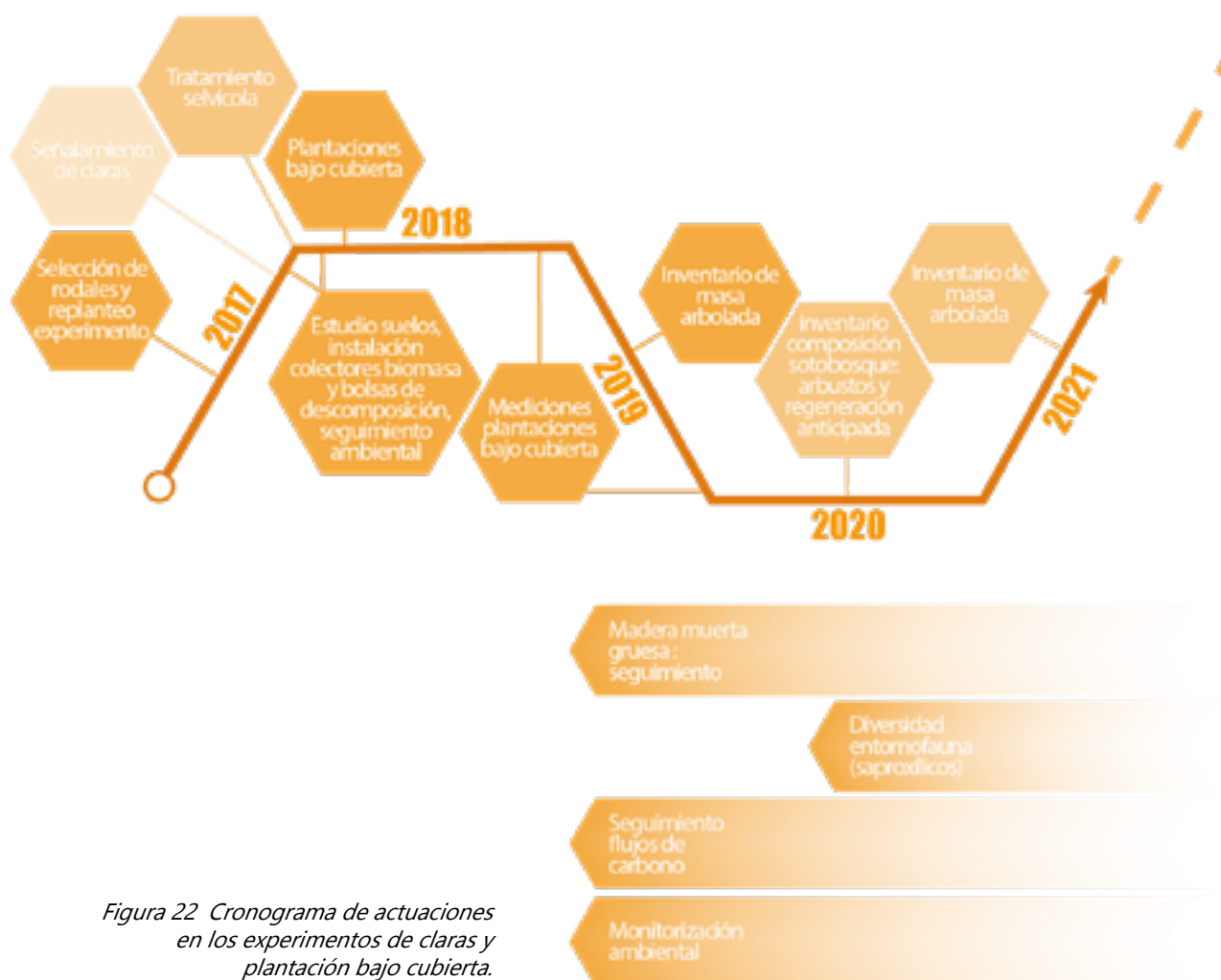


Figura 22 Cronograma de actuaciones en los experimentos de claras y plantación bajo cubierta.



5.1.7 Retornos esperados



El ensayo de claras y plantación bajo cubierta aportará información útil a diversas escalas espacio-temporales:

- Sobre la masa arbolada de pinar, la realización de claras de diferente tipo y peso permitirá evaluar la respuesta a estos tratamientos, tanto en lo que respecta a los cambios estructurales en su transición a bosques complejos como al estado vegetativo y la longevidad de los individuos de pino, muy especialmente en las condiciones de estrés creciente bajo cambio climático. En particular, los resultados que aporten las claras por lo alto con selección de árboles de porvenir permitirán aportar información al selvicultor sobre una experiencia de tratamiento aún casi inexistente en los bosques españoles. Esta respuesta se irá conformando a medio y largo plazo.

- Sobre los procesos de diversificación del sotobosque, los ensayos de clara-plantación bajo cubierta combinados están permitiendo conocer qué especies tardías plantadas se comportan

mejor en este ambiente, así como qué condiciones de espesura son las más adecuadas. Esta información está ya disponible a corto plazo. El seguimiento a medio plazo de la plantación permitirá certificar si las especies plantadas son capaces, no sólo de sobrevivir en el sotobosque, sino también de incorporarse en el dosel dominante, y si esta capacidad es función de la espesura o el tipo de clara.

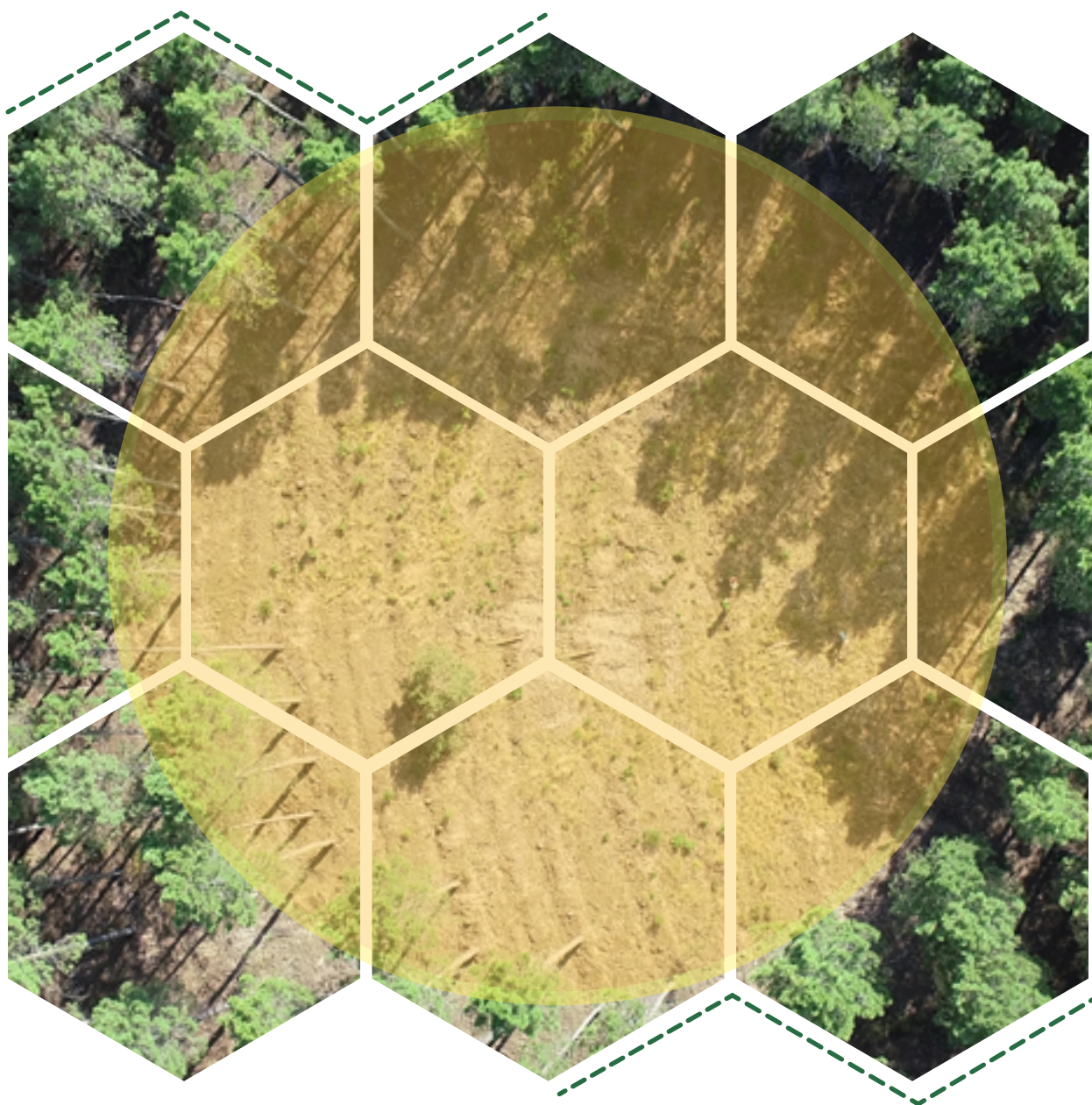
- Los experimentos con madera muerta gruesa están permitiendo conocer los efectos de incorporar estos elementos sobre la masa forestal a corto plazo, no habiéndose observado durante el año de apeo efectos perjudiciales de una proliferación de escolítidos. Asimismo, en los años posteriores, los muestreos de entomofauna alrededor de la madera apeada está permitiendo una primera caracterización de la misma en pinares mediterráneos de repoblación, destacándose la alta abundancia de saproxílicos en estos bosques aparentemente poco diversos por su origen artificial.



5.2



Dispositivo experimental DE ENTRESACA POR BOSQUETES





5.2.1 Introducción y justificación



La gran superficie ocupada en España por repoblaciones protectoras con edades cercanas al turno exige abordar urgentemente su regeneración. En los frecuentes casos en que la especie o especies empleadas son de luz, dicho temperamento condiciona la aplicación de cortas continuas (*cortas a hecho en uno o dos tiempos por tranzones; aclareo sucesivo uniforme de elevada intensidad por tramos; Guerra y Bravo 2004; Serrada 2008; Rodríguez-García et al. 2011; Vergarechea et al. 2019*), justificadas selvicolamente pero que provocan impacto paisajístico y riesgo de erosión.

En estas situaciones puede ser muy interesante la ejecución de cortas a hecho por bosquetes (entresaca por bosquetes) (Serrada 2008). En efecto, la aplicación de entresacas por bosquetes puede adaptarse a las necesidades de regeneración de un amplio rango de especies y estaciones; y provoca una estructura especialmente

compleja y diversa a pequeña y mediana escala, con una elevada proporción de ecotonos por unidad de superficie. Por otra parte, la diversificación específica es una de las estrategias selvícolas más eficaces para la adaptación de los bosques al actual cambio climático (*García-Güemes y Calama 2015; Améztegui et al. 2017*). Las masas mixtas presentan en general una mayor estabilidad y resiliencia frente a perturbaciones bióticas y abióticas, incluidas las sequías extremas. En este sentido, la entresaca por bosquetes favorece de manera muy eficaz la presencia de masas mixtas, al poder actuar no solo en función de la edad de los pies de la masa principal sino también de la presencia o no de otras especies, generando además un gradiente de condiciones ambientales a pequeña escala de modo que según la situación dentro del bosquete se favorezca la regeneración de unas especies u otras. Sin embargo, se trata





de un procedimiento aún poco empleado y sobre el que es necesario seguir investigando.

Buscando conseguir regeneración suficiente y diversificación estructural y específica pero minimizando riesgos, dentro del proyecto FORADMIT se ha instalado un dispositivo experimental en las repoblaciones de *Pinus pinaster* Aiton (pino rodeno) descritas en el apartado 4. *Localización y principales características de la estación y de la masa forestal*, sobre los que se cortó a hecho por bosquetes circulares de tamaños reducidos (entresaca por bosquetes).

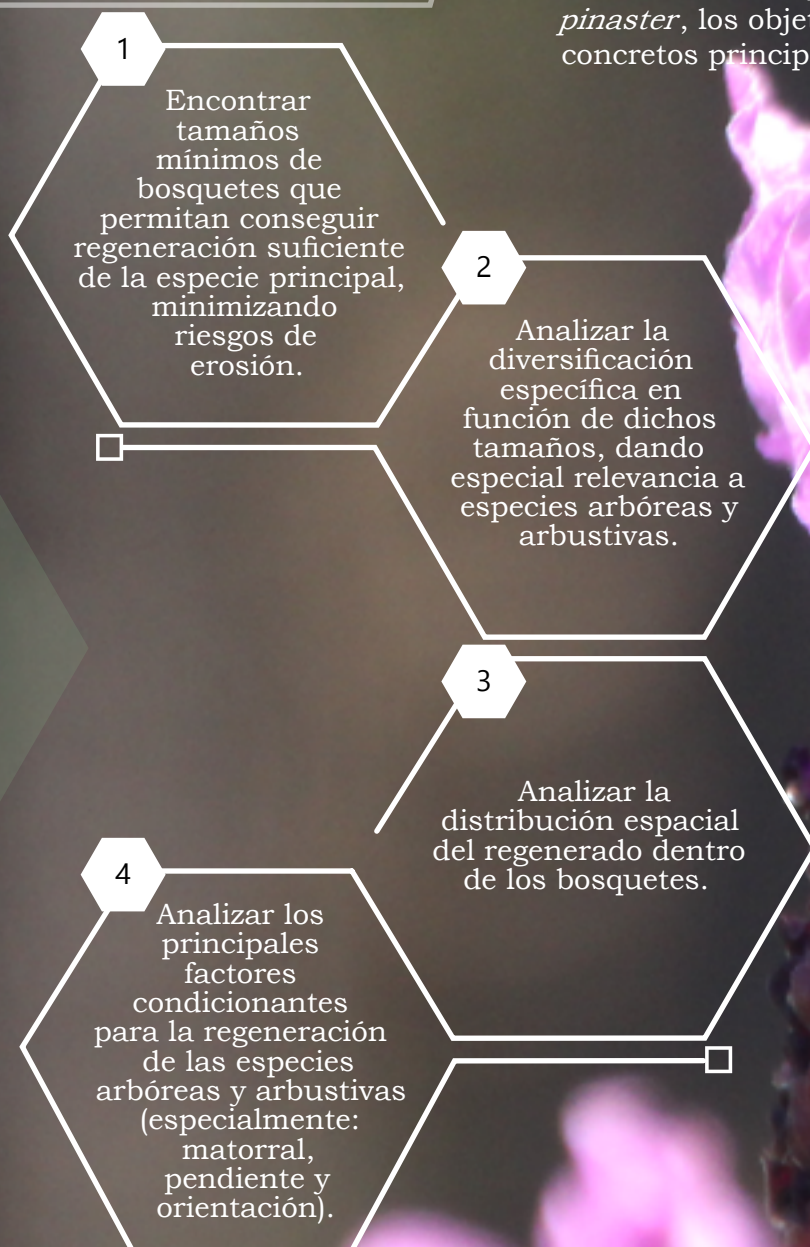




5.2.2 Objetivos de los ensayos de entresaca por bosquetes

El objetivo general de estos trabajos consiste en mejorar el conocimiento sobre la dinámica inducida tras la aplicación de cortas a hecho por bosquetes (entresaca por bosquetes) sobre repoblaciones de pinos mediterráneos.

Particularizando para *Pinus pinaster*, los objetivos concretos principales son:





5.2.3 Metodología

5.2.3.1 Sitio de estudio

La entresaca por bosquetes se localiza en el M.U.P. n° 261, “Jócar” (término municipal de Arbancón, Guadalajara), situado en Sierra Gorda (Figura 1). La descripción general del lugar ya se ha realizado en apartados previos.

5.2.3.2 Cortas realizadas

Las cortas, realizadas en diciembre de 2017 y consistentes en cortas a hecho en un solo tiempo dentro de los bosquetes, se ejecutaron mediante apeo manual y saca con skidder. Durante las mismas se extrajeron todos los ejemplares de pino presentes en los bosquetes, respetándose el resto de especies preexistentes. Los restos de las cortas se

eliminaron mediante quemas, situándose las hogueras repartidas por la superficie de los bosquetes. Los fustes fueron extraídos del monte para su aprovechamiento comercial.

En la Figura 23 se aprecia el aspecto de un bosquecillo recién cortado, con los fustes aún sin extraer y las ramas y ramillas aún sin eliminar. La Figura 24 muestra un bosquecillo ya despejado, unas semanas después de las cortas.





*Figura 23. Corta a
hecho en un tiempo
recién realizada sobre
el pinar localizado en
uno de los bosquetes.
Fustes aún sin extraer
y restos de la corta
aún sin eliminar.*



*Figura 24 Aspecto de
un bosque recién
cortado, despejado ya
de fustes y restos de
las cortas.*



5.2.3.3 Dispositivo experimental

El dispositivo consta de 3 repeticiones, en cada una de las cuales encontramos 3 tratamientos:

- 3 bosquetes grandes de 44 m de diámetro (2,5 veces la altura dominante de 17,5 m, ligeramente sobrestimada en un inventario inicial), y superficie de 1.520,5 m².
- 9 bosquetes pequeños de 26 m de diámetro (1,5 veces la altura

dominante de 17,5 m, ligeramente sobrestimada en un inventario inicial), y superficie de 530,9 m².

- 3 parcelas control (situadas en zonas de la masa localizadas en el entorno de los bosquetes)

Por tanto, en total se dispone de: 9 parcelas control, 9 bosquetes grandes y 27 bosquetes pequeños.

Sobre las parcelas control, circulares de 10 m de radio, se realizó, al inicio del experimento, un inventario dasométrico completo para caracterizar la masa (resumen de resultados en Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización dasométrica de la repoblación de *Pinus pinaster* analizada (MUP nº 261 "Jócar", Arbancón, Guadalajara), rodal asociado al ensayo de entresaca por bosquetes (N: densidad; G: área basimétrica; Dg: diámetro cuadrático medio; Hm: altura media; Ho: altura dominante; Hart: índice de Hart-Becking)

	N (pies/ha)	G (m ² /ha)	Dg (cm)	Hm (m)	Ho (m)	Hart (%)
Media	413,8	31,8	31,2	15,7	16,5	30,1
Minimo	318,3	23,8	28,9	15,3	15,9	25,4
Máximo	541,1	47,4	34,0	16,2	16,9	33,6
Error estándar	25,4	2,5	0,6	0,1	0,1	1,0

En la Figura 25 se presenta la localización teórica de los bosquetes y una vista aérea general del dispositivo con las cortas recién hechas.

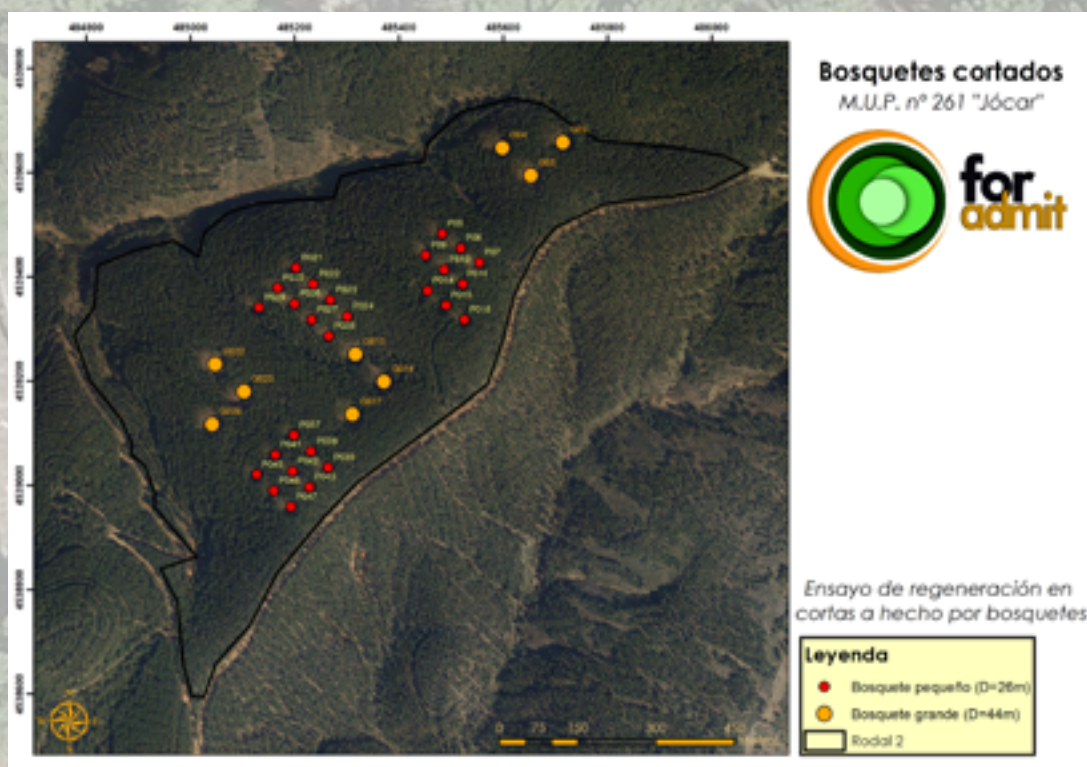


Figura 25. Diseño con la situación de los bosquetes y controles (izquierda) y vista aérea general del dispositivo una vez realizadas las cortas (derecha; extraído de Google Earth).

Es muy importante destacar que los bosquetes realizados son de tamaños muy inferiores a los habitualmente empleados en la gestión forestal. Así, en la bibliografía es frecuente encontrar que el tamaño mínimo de bosque debe estar en torno a 0,5 ha

(Madrigal, 1994; Serrada, 2011), que supone aproximadamente 80 m de diámetro. En la Figura 26 se representan, a escala, este tamaño mínimo de bosque habitualmente recomendado junto con los empleados en nuestro estudio.



Figura 26. Proporción relativa entre los tamaños correspondientes a: bosque de tamaño mínimo habitualmente recomendado (color rojo; 80 m de diámetro); bosque más grande empleado en nuestro estudio (color azul; 44 m de diámetro); bosque más pequeño empleado en nuestro estudio (color verde; 26 m de diámetro).

5.2.3.4 Muestreos de regeneración realizados

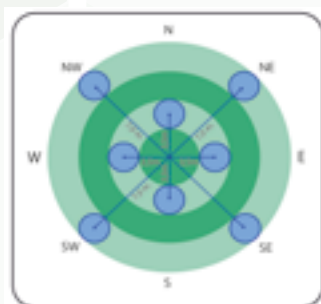
En cada parcela control se replantearon cinco subparcelas de regeneración, una en el centro de la parcela de 10 m y las otras cuatro en los cuatro radios principales (N, S, E y W), a 10 metros del centro (Figura 27).

La disposición de las subparcelas de regeneración dentro de los bosques, fue la siguiente: 25 parcelas por bosque pequeño y 29 por bosque grande, distribuidas en 8 radios. En los radios cardinales principales (N, S, E y O) se han situado dos parcelas a distancias fijas en el caso de

los bosques pequeños y tres en los grandes, mientras que en los radios secundarios (NE, SE, NW y SW) se han situado tres parcelas en ambos tamaños de bosques. Además, en las orientaciones de solana y umbría puras (SO y NE) se han colocado dos parcelas en la prolongación del radio, pero fuera del bosque, para evaluar el efecto que la corta pueda tener en la regeneración de la masa contigua no intervenida (Figura 27).

Las subparcelas de regeneración, cuyo centro está replantado de modo permanente para permitir muestreos sucesivos, tienen en todos los casos 1 m de radio.





Detalle de la distribución
espacial de subparcelas
en el centro de bosque.

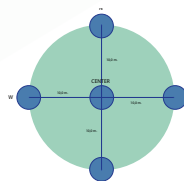
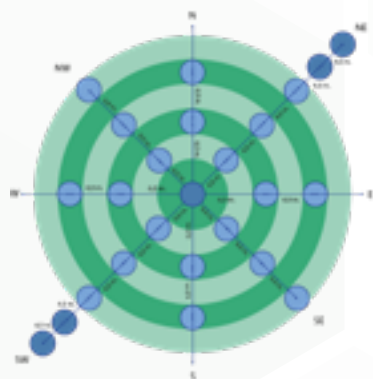
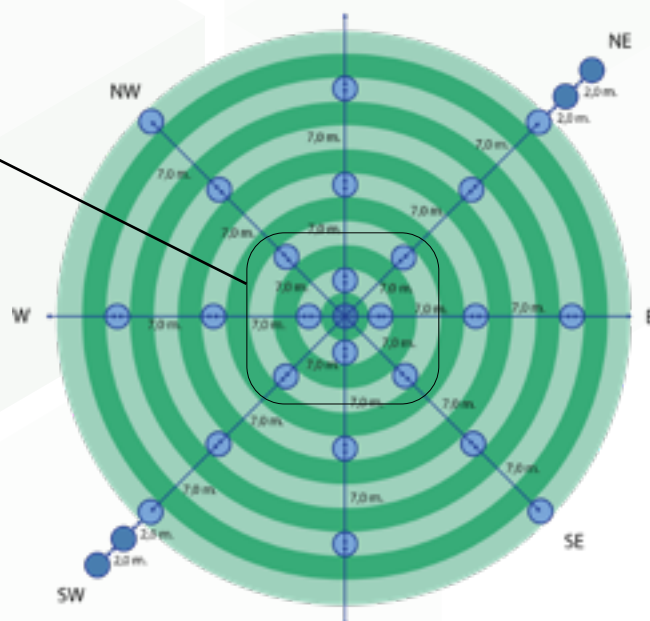


Figura 27. Disposición espacial de las subparcelas de regeneración. Bosquete grande (arriba), bosquetes pequeño (abajo, izda) y parcela control (abajo, derecha).

Por tanto, se dispone de 45 subparcelas de regeneración en las parcelas control, 225 en bosquetes pequeños y 261 en bosquetes grandes, haciendo un total de 531 subparcelas de regeneración.

En cada subparcela de regeneración se anotó información sobre todos los ejemplares de pino rodeno y otras especies arbóreas: numeración unívoca, localización en croquis y medición de diversas variables (altura, longitud de copa viva, longitud de acículas, indicios de ramoneo, etc.), distinguiendo entre individuos del año o aparecidos en años anteriores (desde la corta o previamente). Además, se efectuaron mediciones de: cobertura y altura del matorral y del estrato herbáceo; espesor y cobertura de restos orgánicos (distinguiendo entre finos — diámetro < 2,5cm— y leñas — diámetro > 2.5 cm); e indicios de erosión (laminar o en regueros).

Hasta la actualidad se han realizado muestreos de regeneración pre y post-estivales correspondientes a los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022. De este modo, se dispone de información secuencial sobre la regeneración que ha ido apareciendo cada primavera y otoño durante los cinco primeros años posteriores a las cortas, así como sobre la supervivencia al periodo estival.

De momento, y por falta de recursos, solo se han muestreado 3 de los 9 bosquetes pequeños existentes en cada repetición. En la Figura 28 se representan los bosquetes pequeños finalmente muestreados, junto con todos los bosquetes grandes y las parcelas control (en ambos casos muestreados en su totalidad). La Figura 25 (derecha) presenta una vista aérea de las cortas recién ejecutadas.

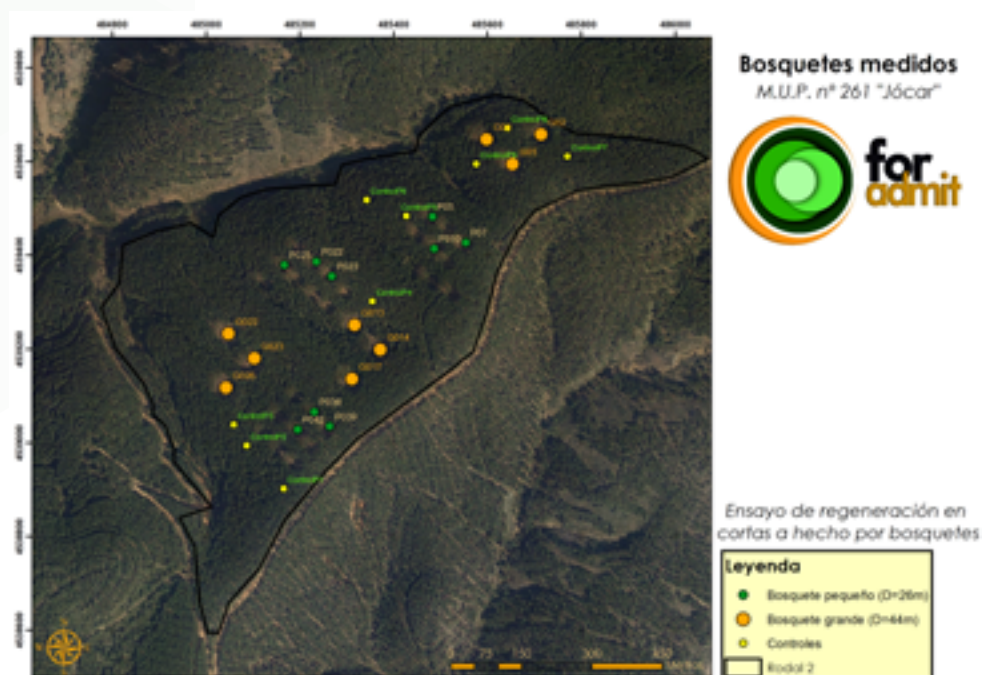


Figura 28. Situación de las parcelas control y de los bosquetes, con representación tan solo de los bosquetes pequeños finalmente muestreados



5.2.3.5 Cronograma de las tareas realizadas

En la Figura 29 se muestra la secuencia temporal de las principales tareas desarrolladas en relación con este dispositivo experimental. Como consecuencia de nuestro estudio, esperamos poder realizar las siguientes aportaciones:

- en un plano más teórico, confiamos en contribuir a avanzar

en el conocimiento de los procesos de regeneración de este tipo de masas, incluyendo relaciones de causa-efecto;

- además, creemos que nuestros resultados pueden ser de aplicación inmediata para los gestores de las extensas superficies ocupadas en España por masas de características muy similares a la analizada.

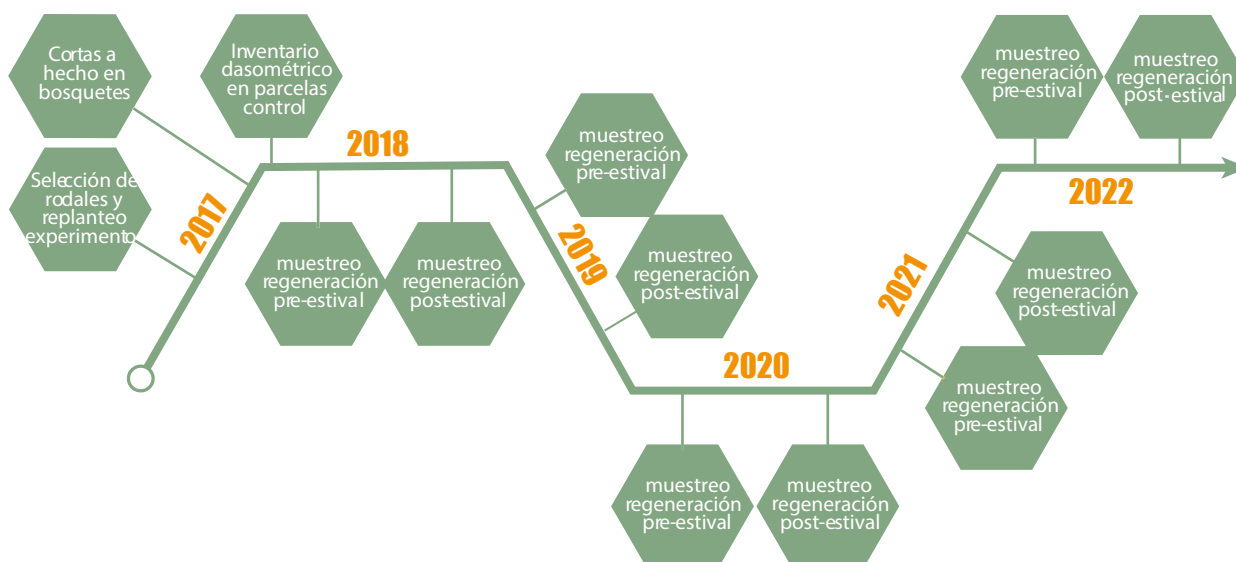


Figura 29. Cronograma de las tareas realizadas en el dispositivo de entresaca por bosquetes.

5.2.4 Retornos esperados

Como consecuencia de nuestro estudio, esperamos poder realizar las siguientes aportaciones:

- en un plano más teórico, confiamos en contribuir a avanzar

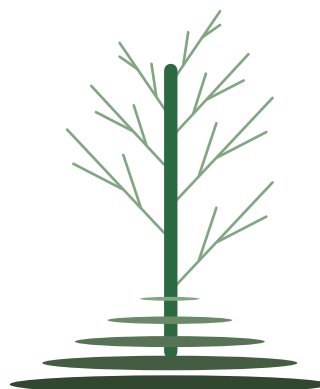
en el conocimiento de los procesos de regeneración de este tipo de masas, incluyendo relaciones de causa-efecto;

- además, creemos que nuestros resultados pueden ser de aplicación inmediata para los gestores de las extensas superficies ocupadas en España por masas de características muy similares a la analizada.



5.3 Seguimiento de precisión de la respuesta del arbolado a los tratamientos selvícolas:

instalación de dendrómetros de banda



Con el objetivo de analizar el crecimiento de la masa arbolada y el efecto de los distintos tratamientos selvícolas estudiados, el dispositivo experimental de FORADMIT ha incorporado la medición del incremento diametral intranual de los árboles con la instalación de dendrómetros de banda. El uso de los dendrómetros es una interesante herramienta para detectar la distinta respuesta del crecimiento como indicador del estado y resistencia del arbolado, de la influencia de factores selvícolas y ecológicos de la estación (*Aldea 2018*). En el ensayo de claras se han instalado dendrómetros en cada parcela de tratamiento (Control, Clara baja moderada, Clara baja fuerte y Clara alta con señalamiento de árboles de porvenir) en tres individuos en distintas clases

sociológicas (dominantes y dominados). Adicionalmente se han instalado dendrómetros en tres árboles de porvenir en el tratamiento de claras altas. Los dendrómetros son de anillo, con junta y banda de acero, con micrómetro de lectura y precisión de 0,1 mm (Figura 30). En el dispositivo de claras de FORADMIT se han instalado un total de 84 dendrómetros (12 parcelas x 6 árboles + 4 parcelas de claras altas x 3 árboles de porvenir).

Los dendrómetros se instalaron en febrero de 2019; el seguimiento se ha realizado desde ese momento hasta la actualidad, con distintos intervalos de medida, oscilando entre dos (2020 por limitación de desplazamientos) y seis medidas por año.





El análisis del crecimiento del arbolado en intervalos temporales intraanuales en el rodal donde se está ensayando la entresaca por bosquetes incluye también la instalación de dendrómetros. Se han colocado dendrómetros en tres zonas de seguimiento (Control, regeneradas en bosquetes grandes o en bosquetes pequeños). En los tratamientos con bosquetes, se han instalado dendrómetros en dos árboles dominados y dos dominantes en los bordes de dos bosquetes por zona (en la misma dirección de la diagonal NW-SE). En la zona control se han sumado otros 8 árboles (4 dominantes y 4 dominados). En total: 24 dendrómetros en el rodal del ensayo de entresaca por bosquetes. La instalación de los dendrómetros en este ensayo y la frecuencia de medición han sido las mismas que en el ensayo de claras.

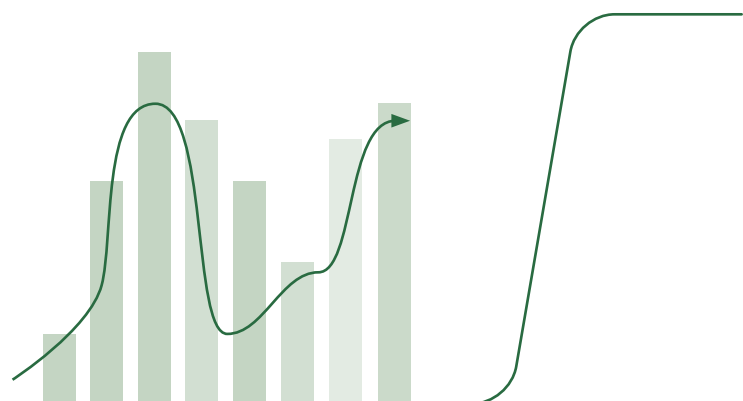




Figura 30. Dendrómetros de
banda instalados en parcelas
de claras



5.4 Dispositivo para la evaluación de stocks y dinámica del C



5.4.1 Introducción y justificación

Los cambios que experimenta la composición específica de la vegetación, como consecuencia tanto de la gestión forestal como del cambio climático (*Lenoir et al., 2008; Sanz-Elorza et al. 2003*), tienen efectos sobre los ciclos de nutrientes del suelo (*Eviner & Chapin, 2003*). Conocer y cuantificar cómo afectarán estos cambios a los reservorios de carbono (C) y nitrógeno (N) del suelo es crucial para saber si nuestros ecosistemas se comportarán como sumideros o como fuentes de estos elementos en un contexto futuro de cambio global (*McKinley & Blair, 2008*), así como conocer cómo los tratamientos selvícolas afectarán a dicho comportamiento. El dispositivo experimental creado a partir de los tratamientos selvícolas está siendo una magnífica oportunidad para seguir obteniendo información sobre

stocks de C y N, así como sobre los procesos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica en los suelos desde diferentes pinares del Sistema Central.

En este sentido ya se conoce el papel que desempeña la especie dominante en cuanto a la capacidad de almacenar C en los suelos, debido al control que la especie principal ejerce sobre las tasas de deposición de hojarasca y de las características químicas y de la estabilidad física de la materia orgánica (*Díaz-Pines et al. 2010, 2011a, Chiti et al., 2012*). Otro aspecto muy relevante se centra en el estudio de la estabilidad física de la materia orgánica del suelo puesto que, a pesar del mayor stock de C en los suelos de los pinares, es inferior a la de los suelos de los melojares (*Díaz-Pinés et al., 2011b*) y, de hecho, ensayos de laboratorio han permitido observar mayores flujos de CO₂ en dichos suelos de pinar





(Díaz-Pinés *et al.* 2014). Urge por tanto seguir profundizando en el conocimiento de los stocks de C y de la estabilidad de la materia orgánica de los suelos en relación a la silvicultura aplicada con el fin de orientar la gestión forestal hacia la consecución de una mayor capacidad de mitigación y adaptación al cambio global. En este sentido, los datos empíricos logrados hasta la fecha encajan en modelos de la evolución de los stocks de C, considerando la globalidad del sistema forestal (Álvarez *et al.* 2014). Es necesario dar un paso más y analizar elementos detallados de las interacciones planta-suelo en los ecosistemas templados, como son la variación estacional de los nutrientes disponibles (especialmente N) y C lábil. Las plantas modifican el C y el N disponible para los microorganismos del

suelo como resultado de la competición por los nutrientes durante el crecimiento activo, la exudación de C lábil vía raíces y del suministro de hojarasca (Kaiser *et al.*, 2010). A su vez, los microorganismos controlan la disponibilidad de nutrientes para las plantas a través de una amplia variedad de procesos de descomposición (Schmidt *et al.*, 2007). La modificación de la cobertura arbórea a través de las claras repercutirá sobre factores abióticos y bióticos – como la cantidad de materia orgánica que es incorporada al suelo y al crecimiento de la propia masa – que pueden modificar la disponibilidad de C y N, lo que, a su vez, alterará la fisiología y la composición de la comunidad microbiana del suelo, viéndose alteradas las interacciones estacionales planta-suelo.



ÍNDICE



5.4.2 Objetivos

El objetivo general del proyecto desde la perspectiva del suelo es evaluar el efecto de la calidad de estación y la gestión selvícola en la capacidad de almacenamiento de carbono (C) y en los procesos de descomposición de la materia orgánica del suelo de los pinares de repoblación. Este objetivo general pretende caracterizar la respuesta del sistema planta-suelo-microorganismo a la calidad de estación y a los distintos tratamientos selvícolas en los

pinares de repoblación de *Pinus pinaster* mediterráneos en torno al Sistema Central. En este objetivo se hace especial hincapié en conocer las implicaciones que tiene dicha gestión selvícola en la mitigación del cambio climático a través del secuestro de C en vuelo y suelo de los pinares. Para alcanzar este objetivo se utilizan dos ámbitos de trabajo donde se evalúan los efectos a medio plazo, en la localidad de El Vado, y a corto plazo en la localidad de Arbancón.

Este objetivo se sustenta en las siguientes hipótesis de trabajo:

- La intervención sobre la cobertura vegetal modifica la disponibilidad de C y Nitrógeno (N) en el suelo y otros factores abióticos (insolación, humedad, temperatura del suelo, etc.) lo cual afecta a la estructura y actividad de la comunidad microbiana del suelo que retroalimenta los procesos planta-suelo.
- Los flujos y la acumulación de C y N del suelo varían interanualmente y estacionalmente, estando condicionadas de manera muy marcada por la sequía estival característica del clima mediterráneo. Habría que añadir una serie de objetivos colaterales que, sin poder ser esperables como resultado directo de la gestión forestal, se identifican claramente como una consecuencia del cambio en el vuelo forestal:

Aumento del
sumidero de
carbono a medio-
largo alcance
presente en los
suelos forestales

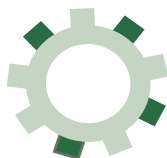
Control de las
dinámicas de
descomposición
de la materia
orgánica en
los suelos
forestales







5.4.3 Metodología



5.4.3.1 Trabajos de caracterización edafológica de los pinares de repoblación de *Pinus pinaster* en Arbancón

En 2018 se realizaron 6 calicatas (una en cada bloque de claras y en cada repetición de bosquetes) para la caracterización del perfil edáfico en las zonas experimentales. En cada uno de los horizontes edafogénicos se ha determinado

su profundidad, contenido en elementos gruesos, densidad aparente, clase textural (Figura 30), humedad, color, pH en agua y KCl, conductividad eléctrica, concentraciones de C y N totales, y concentraciones disponibles de fósforo y potasio. Además, se ha calculado la relación C:N y los stocks de C y N para la totalidad del perfil de suelo. Estos análisis se han llevado a cabo en el laboratorio de Edafología del Departamento de Sistemas y Recursos Naturales (Universidad Politécnica de Madrid) Figura 31.

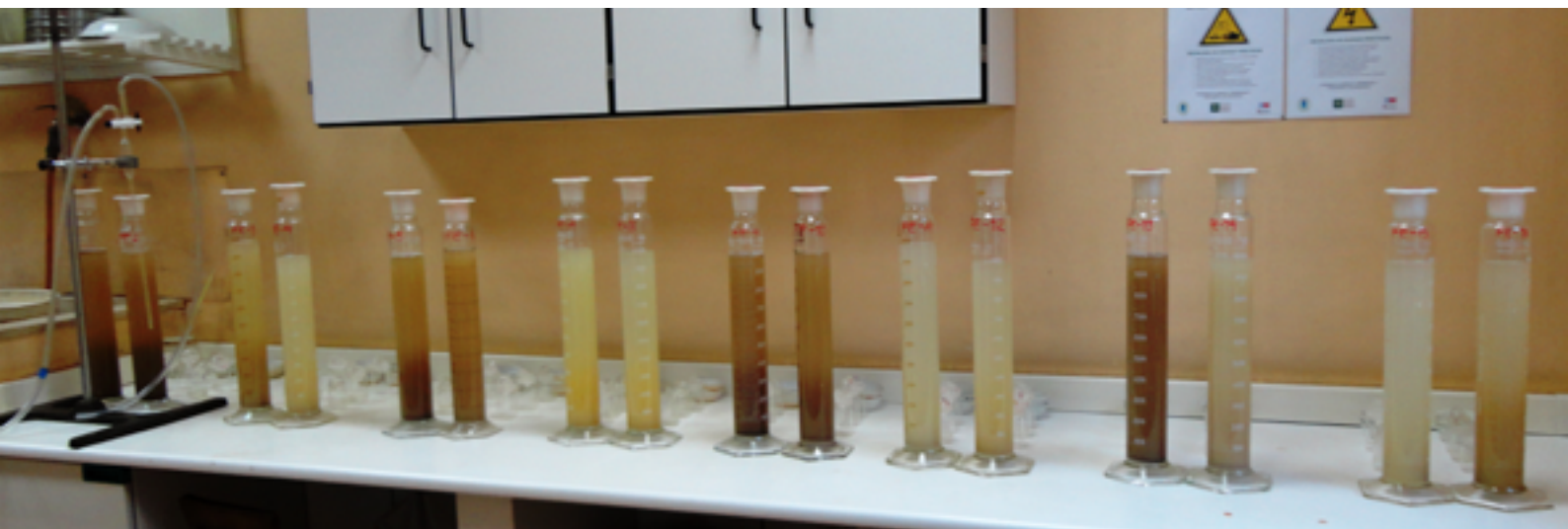


Figura 31. Detalle de la determinación de la clase textural de los horizontes edafogénicos de las calicatas



5.4.3.2 Determinación de los stocks de C y N del suelo mineral y horizonte orgánico

En 2018 se recogieron muestras del horizonte orgánico y del suelo mineral, así como cilindros de suelo mineral de volumen conocido para la determinación de la densidad aparente. La densidad aparente del horizonte orgánico se realizó extrayendo el espesor de cada horizonte sobre una superficie de 100 cm². La determinación analítica del C y N totales en las muestras se ha realizado en el Laboratorio Agrisost de la UPM usando un analizador elemental (LECO TruMac CN). En Arbancón se han muestreado

27 puntos (15 en tratamiento de bosquetes y 12 en tratamiento de claras) a 5 profundidades (horizonte orgánico, 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm del suelo mineral) y recogiendo 3 muestras por punto (405 muestras). En El Vado se realizó un muestreo análogo sobre 18 puntos situados en tres altitudes diferentes –tres calidades distintas- a 5 profundidades haciendo un total de 90 puntos más de análisis.

A lo largo del mes de diciembre de 2020 se repitió el muestreo de los suelos en El Vado para la determinación de posibles variaciones de los stocks de C y N en el corto lapso de tiempo transcurrido de la anterior toma de muestras.

5.4.3.3 Recogida de desfronde

A lo largo de todo el proyecto se está cuantificando de forma trimestral (semestral desde 2020) la tasa de caída de pinocha en los pinares de repoblación de *Pinus pinaster* en Arbancón. A tal efecto se ubicaron 48 colectores (24 en tratamiento de bosquetes y otros 24 en tratamiento de claras, (ver

Figura 33) contruidos con chapa galvanizada con forma de embudo y una apertura superior de 1 m de radio (ver Figura 32). Los residuos vegetales frescos recogidos en cada campaña son secados (Figura 34a), clasificados (Figura 34b) y pesados en el laboratorio de Edafología del Departamento de Sistemas y Recursos Naturales de la Universidad Politécnica de Madrid

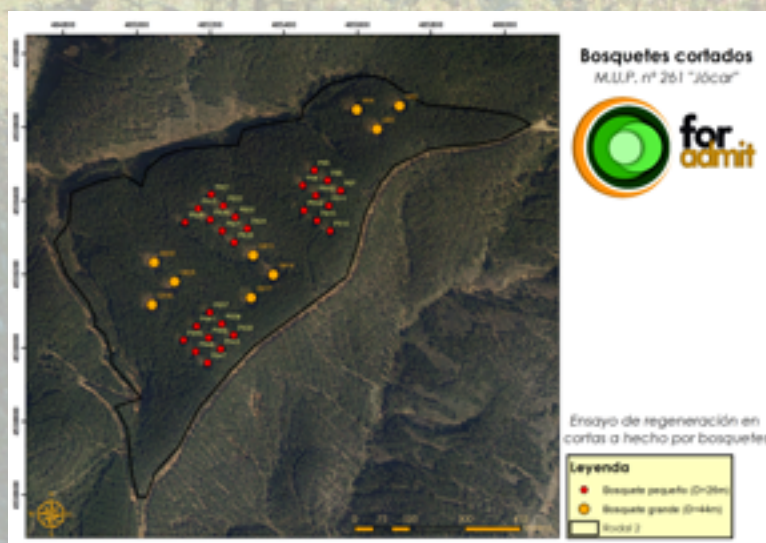


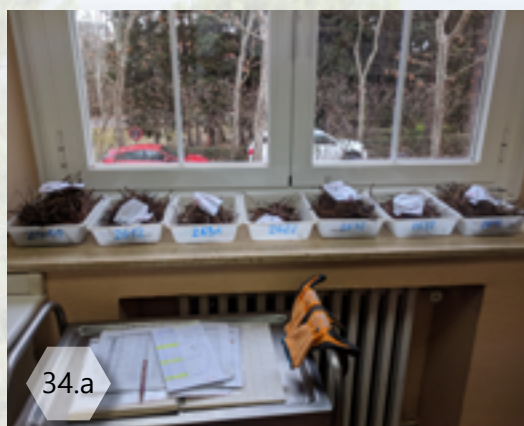


Figura 32. Colectores para la recogida trimestral del desfronde de pinocha en parcela con tratamiento de entresaca por bosquetes.

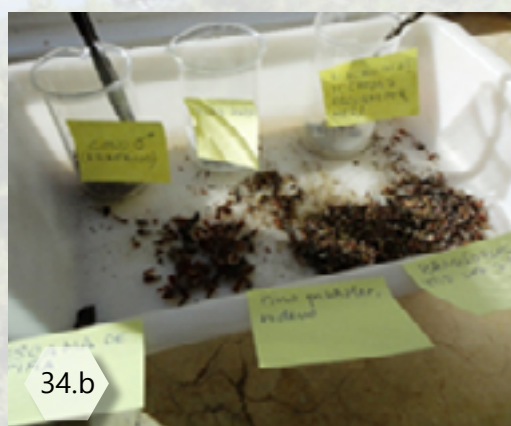


Figura 33. Ubicación de colectores de desfronde y de otros lugares de muestreo como puntos de suelo para stocks de C y situación de calicatas de perfiles





34.a



34.b

Figura 34. Procesado de los residuos vegetales recogidos en los colectores de desfronde a) y posterior clasificación en las diferentes fracciones consideradas b).

5.4.3.3.1 Ensayo de descomposición de hojarasca

Se ha concluido un experimento utilizando litterbags (Figura 34) para conocer el modo en el que la gestión selvícola puede afectar al proceso de descomposición de la hojarasca en el horizonte forestal. Se han generado bolsas con material vegetal fresco consistente en acículas de *P. pinaster*, hojas de encina (*Quercus ilex*) y hojarasca mixta en proporción 1:1 de acículas y hojas. En total, en la localidad de Arbancón se

han dispuesto 162 litterbags (3 tipos de material vegetal -acículas, hojas y mixtas- x 6 momentos de recolección -4, 8, 12, 18, 24 y 30 meses- x 3 tratamientos (control, clara baja 35 % y bosquetes de diámetro 44 m x 3 réplicas). En las muestras de hojarasca procedente de litterbags se ha querido monitorizar el proceso de descomposición en términos de pérdida de masa, C y N totales, lignina, celulosa, nutrientes y comunidades microbianas descomponedoras. Los resultados están siendo analizados.



Figura 35. Detalle de triplete de hojarasca (hojas de encina, acículas y hojarasca mixta 1:1) instalada en parcela de tratamiento de bosquetes en Arbancón.



Con los
trabajos
realizados
todavía está
pendiente:

Cuantificación del C
almacenado en biomasa
(aérea + subterránea)
por los pinares de
replantación objeto de
estudio.

Estudio de la variación
de C y N de la biomasa
microbiana en los pinares
de repoblación de *Pinus
pinaster* de El Vado.

Abundancia y
composición de la
comunidad microbiana
de los pinares de
replantación de *Pinus
pinaster* de Arbancón.

Monitorización de los
factores abióticos de los
pinares de repoblación
de *Pinus pinaster* en
Arbancón.



ÍNDICE







06

Agradecimientos



El proyecto FORADMIT (Gestión forestal para la adaptación y mitigación: diversificación estructural y específica de pinares mediterráneos de repoblación, AGL2016-77863-R) ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Agradecemos a la Universidad Politécnica de Madrid por el apoyo a la gestión del Proyecto y su personal.

También ha sido muy importante la financiación recibida por parte de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Para la instalación de los dispositivos experimentales y el correcto desarrollo de los trabajos ya realizados hasta la fecha ha sido imprescindible la implicación y participación de técnicos y agentes medioambientales del Servicio de Política Forestal y Espacios Naturales de Guadalajara (Dirección General de Medio Natural y de Biodiversidad, Consejería de Desarrollo Sostenible, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha). En concreto, destacamos la inestimable colaboración de Raquel Ibáñez Martínez y Pedro Díaz Felgueras.







07

Referencias Bibliográficas



Aldea, J. 2018. Tree growth dynamic and thinning response in Mediterranean pine-oak forest stands. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.

Álvarez, S.; Ortiz, C.; Díaz-Pines, E.; Rubio, A. 2014. Influence of tree species composition, thinning intensity and climate change on carbon sequestration in Mediterranean mountain forests: a case study using the CO2Fix model Mitig Adapt Strateg Glob Change (In press)

Améztegui, A.; Cabon, A.; de Cáceres, M.; Coll, L. 2017. Managing stand density to enhance the adaptability of Scots pine stands to climate change: a modelling approach. Ecol. Model., 356, 141-150. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2017.04.006

Bauhus, J.; Van Der Meer, P.J.; Kanninen, M. (Eds.) 2010 Ecosystem Goods and Services from plantation forests EarthScan. London-Washington. 276 pp

Cantiani, P. (Ed.) 2016 Selective thinning. Increasing mechanical stability and biodiversity in black pine plantations SelPiBioLife technical handbook. Publication from SelPiBioLife Project [LIFE13 BIO/IT/000282]. Compagnia delle Foreste S.r.l. Arezo, Italy. 63 pp.



Curiel, V.; de Ancos, J.L. y Arribas, C. 2001. Cortas de mejora en masas de *P. pinaster* y *P. nigra* en diferentes montes de la Sierra de Ayllón (Guadalajara). Actas III Congreso Forestal Español, 15713.

Chiti, T.; Díaz-Pinés, E.; Rubio, A. 2012. Soil organic carbon stocks of conifers, broadleaf and evergreen broadleaf forests of Spain. *Biol Fertil Soils*, 48: 817–826

Del Campo, A.; Fernandes, T.J.G.; Molina, A.J. 2014 Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semiarid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management? *Eur J Forest Res* 133: 879–894

Del Río Gaztelurrutia, M.; López Senespleda, E.; Montero, González, G. 2006 Manual de gestión para masas procedentes de repoblación de *Pinus pinaster* Ait., *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arn. En Castilla y León Junta de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente, 76 pp

Díaz-Pinés, E.; Schindlbacher, A.; Pfeffer, M.; Jandl, R.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Rubio, A. 2010. Root trenching: a useful tool to estimate autotrophic soil respiration? A case study in an Austrian mountain forest. *Eur J Forest Res* 129:101–109. DOI 10.1007/s10342-008-0250-6

Díaz-Pinés, Rubio, A.; Montes, F. 2011a. Aboveground soil C inputs in the ecotone between Scots pine and Pyrenean oak in Sierra de Guadarrama. *Forest Systems*, 20(3): 485–495

Díaz-Pinés, E.; Rubio, A.; Van Miegroet, H.; Benito, M.; Montes, F. 2011. Does tree species composition control soil organic carbon pools in Mediterranean mountain forests? *Forest Ecology and Management*, 262 (10): 1895–1904

Díaz-Pinés, E.; Schindlbacher, A.; Godino, M.; Kitzler, B.; Jandl, R.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Rubio, A. 2014. Effects of tree species composition on the CO₂ and N₂O efflux of a Mediterranean mountain forest soil. *Plant Soil* 384:243–257 DOI 10.1007/s11104-014-2200-z

Dupont-Leduc, L.; Robert Schneider, Luc Sirois. 2020. Preliminary Results from a Structural Conversion Thinning Trial in Eastern Canada. *Journal of Forestry* 118(5): 515–533, <https://doi.org/10.1093/jofore/fvaa022>

Eviner, V.T.; Chapin, F. S. 2003. Functional matrix: A Conceptual Framework for Predicting Multiple Plant Effects on Ecosystem Processes. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 34: 455–85. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132342

García-Güemes, C., Calama, R. 2015. La práctica de la silvicultura para la adaptación al cambio climático. En: Herrero, A. y Zavala, M.A. (eds.): Los bosques



y la biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España, pp. 501-

Gavinet, J.; Vilagrosa, A.; Chirino, E.; Granados, M.E.; Vallejo, V.R.; Prévosto, B. 2015 Hardwood seedling establishment below Aleppo pine depends on thinning intensity in two Mediterranean sites. *Annals of Forest Science* 2015 72:495

Gómez-Aparicio, L.; Zavala, M.A.; Bonet, F.; Zamora, R. 2009 Are pine plantations valid tools for restoring mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients *Ecological applications*, 19 (8): 2124-2141

González Molina, J.M. 2006. Manual de gestión de los hábitats de pino silvestre en Castilla y León Junta de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente, 123 pp

Granados, M.E.; Vilagrosa, A.; Chirino B E.; Vallejo, V.R. 2016. Reforestation with resprouter species to increase diversity and resilience in Mediterranean pine forests. *Forest Ecology and Management* 362: 231–240

Guerra, B.; Bravo, F. 2004. Análisis y modelización de la regeneración de *Pinus pinaster* Ait. en el Sistema Ibérico Meridional. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.*, 18, 167–172

Haughian, S.R.; Frego, K.A. 2016 Short-term effects of three commercial thinning treatments on diversity of understory vascular plants in white spruce plantations of northern New Brunswick *Forest Ecology and Management* 370: 45–55

Helluy, M.; Gavinet, J.; Prévosto, B.; Fernández, C. 2021. Influence of light, water stress and shrub cover on sapling survival and height growth: the case of *A. unedo*, *F. ornus* and *S. domestica* under Mediterranean climate. *Eur J Forest Res* 140, 635–647 <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01356-1>

Kaiser, C.; Koranda, M.; Kitzler, B.; Fuchslueger, L.; Schnecker, J.; Schweiger, P.; Rasche, F.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Sessitsch, A.; Richter, A. 2010. Belowground carbon allocation by trees drives seasonal patterns of extracellular enzyme activities by altering microbial community composition in a beech forest soil. *New Phytologist* 187, 843–858.

Lenoir, J.; Gegout, J.C.; Marquet, P.A.; de Ruffray, P.; Brisse, H. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320: 1768–1771.

Lindenmayer, D.B.; Franklin, J.F. 2002 *Conserving Forest Biodiversity. A comprehensive multiscaled approach* Island Press. 351 pp



Madrigal, A. 1994. Ordenación de montes arbolados. Colección Técnica. ICONA. Madrid. 375pp.

Manrique-Alba, A.; Beguería, S.; Camarero, J. 2022. Long-term effects of forest management on post-drought growth resilience: An analytical framework. *Science of The Total Environment* 810: 152374

McKinley, D.C.; Blair, J. M. 2008. Woody Plant Encroachment by *Juniperus virginiana* in a Mesic Native Grassland Promotes Rapid Carbon and Nitrogen Accrual. *Ecosystems* 11: 454–468. DOI: 10.1007/s10021-008-9133-4

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.

Ministerio De Medio Ambiente, Y Medio Rural Y Marino. 2009. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España.

Moghli, A.; Santana, V.M.; Soliveres, S.; Baeza, M.J. 2022. Thinning and plantation of resprouting species redirect overstocked pine stands towards more functional communities in the Mediterranean basin *Science of The Total Environment* 806, Part 3 150715

Morcillo, L.; Turrión, D.; Soliveres, S.; Chirino, E.; Vallejo, V.C.; Vilagrosa, A. 2022. Moderate pine cover maximizes 10-year survival and growth in late-successional species of contrasting functional strategies. *Forest Ecology and Management* 509:120098

Müller, J.; Bütler, R. 2010. A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *Eur J Forest Res* 129, 981-992

Navarro-Cerrillo; R.M., Sánchez-Salguero, R.; Rodríguez, C.; Lazo, J.D.; Moreno-Rojas, J.M.; Palacios-Rodríguez, G., Camarero, J.J. 2019 Is thinning an alternative when trees could die in response to drought? The case of planted *Pinus nigra* and *P. Sylvestris* stands in southern Spain. *For. Ecol. Manage.* 433, 313–324.

Oliet, J.; De La Hoz, F.; Abellanas, B.; Cuadros, S.; Fernández Rebollo, P.; Zamora, R. 2005 Manual de Ordenación de montes de Andalucía Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla. 356 pp



Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, Growth and yield. From measurement to model.

Rodríguez-García, E., Gratzner, G., Bravo, F. 2011. Climatic variability and other site factor influences on natural regeneration of *Pinus pinaster* Ait. in Mediterranean forests. *Ann. For. Sci.*, 68, 811–823. doi: 10.1007/s13595-011-0078-y

Sanz-Elorza, M.; Dana, E.D.; González, A.; Sobrino, E. 2003. Changes in the High-Mountain Vegetation of the Central Iberian Peninsula as a Probable Sign of Global Warming. *Annals of Botany*, 92, 273-280. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcg130>

Schmidt, S.K.; Costello, E.K.; Nemergut, D.R.; Cleveland, C.C.; Reed, S.C.; Weintraub, M.N.; Meyer, A.F.; Martin, A.M. 2007. Biogeochemical Consequences of Rapid Microbial Turnover and Seasonal Succession in Soil. *Ecology* 88, 1379–1385.
Serrada Hierro, R. 2008. *Apuntes de Selvicultura*. Servicio de Publicaciones. EUIT Forestal. Madrid.

Serrada Hierro, R. 2011. *Apuntes de Selvicultura*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Universidad Politécnica de Madrid. 501 pp.

Serrada, R. y Garrachón, S. 2001. Distribución de biomasa aérea y radical en algunas repoblaciones de *Pinus pinaster* de la provincia de Guadalajara. Congreso Forestal Español. Actas III Congreso Forestal Español.

Serrada Hierro, R. 2017 La Selvicultura en las repoblaciones realizadas según el Plan General de Repoblación Forestal de España en su 75 aniversario En: Pemán García, J.; Iriarte Goñi, I.; Lario Leza, F.J. (Eds.) *La restauración forestal de España. 75 años de una ilusión*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Madrid. Pp. 377-400

Serrada, R.; Montero, G.; Reque, J.A. 2008. *Compendio de Selvicultura Aplicada en España* Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

Sheffer, E. 2012. A review of the development of Mediterranean pine–oak ecosystems after land abandonment and afforestation: are they novel ecosystems? *Annals of Forest Science* 69:429–443. DOI 10.1007/s13595-011-0181-0
Stanturf, J.A.; Mansourian, S. 2020. Forest landscape restoration. *State of play* R. Soc. Open Sci. 7: 201218.

Thorn, S.; Seibold, S.; Leverkus, A-B.; Michler, T.; Müller, J.; Noss, R.F.; Stork, N.; Vogel, S.; Lindenmayer, D.B. 2020 The living dead: acknowledging life after tree

death to stop forest degradation *Front Ecol Environ* 2020; 18(9): 505–512

Vadell Guiral, E.; De Miguel Magaña, S.; Pemán, J. 2017. La actividad repobladora desarrollada a partir de 1940. Luces y sombras En: Pemán García, J.; Iriarte Goñi, I.; Lario Leza, F.J. (Eds.) *La restauración forestal de España. 75 años de una ilusión*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Madrid. Pp. 176–226

Vergarechea, M., del Río, M., Gordo, J., Martín, R., Cubero, D., Calama, R. 2019. Spatio-temporal variation of natural regeneration in *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* Mediterranean forests in Spain. *Eur. J. For. Res.*, 138, 313–326. doi: 10.1007/s10342-019-01172-8

Verschuyt, J.; Riffell, S.; Miller, D.; Wigley, T.B. 2011. Biodiversity response to intensive biomass production from forest thinning in North American forests. A meta-analysis *Forest Ecology and Management* 261: 221–232

Villar-Salvador, P. 2016. Restoration of Spanish pine plantations: A main challenge for the 21st century *Reforesta* 1: 53–66

Zhang, H.; Zhou, G.; Wang, Y.; Bai, S.; Sun, Z.; Berninger, F.; Bai, Y.; Penttinen, P. 2019. Thinning and species mixing in Chinese fir monocultures improve carbon sequestration in subtropical China *Eur. J. Forest Res.* 138 (3), 433–443.

