

8.2.9. PINARES DE *PINUS* *PINEA*

RAFAEL CALAMA SAINZ; SVEN MUTKE

DESCRIPCIÓN ECOLÓGICA

El pino piñonero (*Pinus pinea*) es una especie cuya dinámica natural en Castilla y León tiende a formar masas abiertas con cierta irregularidad y habitualmente mezcladas con quercíneas (*Quercus ilex*, *Q. faginea*, *Q. suber*), enebros (*Juniperus communis*, *J. oxycedrus*, *J. thurifera*), pino negral (*Pinus pinaster*) y especies arbustivas. La silvicultura aplicada durante el último siglo y medio se ha orientado a formar masas puras regulares o semirregulares, buscando una cobertura homogénea del tranzón. Los pinares de pino piñonero constituyen formaciones autóctonas frecuentemente interpretadas como paraclimáticas o azonales, ligadas a sustratos pobres y sin evolucionar o serranías. Dentro del territorio de Castilla y León se incluyen también plantaciones antiguas y naturalizadas de estos pinos dentro de su área natural de distribución. Desde finales del siglo XIX, su superficie ha vuelto a aumentar tanto por la restauración del patrimonio forestal esquilmado anteriormente como por la creación de los denominados pinares isla entre tierras de cultivo, reemplazando viñedos perdidos a la filoxera, y desde 1993 por la forestación de tierras agrarias en el marco de la PAC¹.

Los pinares de pino piñonero en Castilla y León ocupan una superficie de 108.359 ha², distribuyéndose principalmente sobre tres litologías (MONTERO et al., 2008): las campiñas arenosas y los páramos calizos de la cuenca central del Duero, y los afloramientos graníticos y berrocales de las cuencas altas del Tiétar y del Alberche. Las campiñas arenosas ocupan la zona sur de la provincia de Valladolid, noroeste de Segovia, norte de Ávila y sureste de Zamora. Estas masas se asientan, en su mayoría, sobre suelos de sustrato arenoso, arenosoles cámbicos y álbicos, suelos aluviales y depósitos cuaternarios (GORDO et al., 2002) formados por materiales no consolidados de textura gruesa. En este territorio el piñonero ha sido gestionado desde antiguo al objeto de obtener masas regulares, puras o mezcladas con *Pinus pinaster*. Especialmente en el caso de las comarcas de la provincia de Segovia, la relevancia económica y social de la resina ha llevado la ordenación de los montes desde finales del siglo XIX a convertir muchas masas naturales de pinar mixto de negral y piñonero a pinar de negral ordenado por tranzones (SOLIÑO et al., 2018).

¹ Política Agraria Común (PAC), accesible en <https://www.mapa.gob.es/es/pac/default.aspx>

² Teselas con *Pinus pinea* como especie principal. Mapa Forestal Español de máxima actualidad © Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/biodiversidad/mfe.aspx>

Ubicados orográficamente por encima de las campiñas arenosas se sitúan los páramos calizos, que dominan el este de la provincia de Valladolid, oeste de la provincia de Burgos y sur de Palencia. En este territorio, el piñonero crece de forma natural en mezcla con encina (*Quercus ilex*), quejigo (*Quercus faginea*), enebro (*Juniperus oxycedrus*) y sabina albar (*Juniperus thurifera*), especies que fueron comúnmente eliminadas si se quería favorecer al pinar, mientras que en otros montes la corta continua de leñas y el carboneo habían llevado las masas de pinar a carrascales casi puros de encina. En la actualidad, la reducción de la presión está llevando ambas formaciones puras a una recuperación espontánea de la dinámica de masas mixtas originales, exceptuando los pinares asentados sobre campos de arenas eólicas en los páramos de la comarca de Portillo, en cierto modo asimilables a los arenales de campiña.

La tercera formación la constituyen los pinares de las cuencas altas del Tiétar y el Alberche, que

ocupan parte del sudeste de la provincia de Ávila. Estas masas vegetan laderas con fuerte pendiente, salpicadas de afloramientos graníticos y berrocales, y se asientan sobre un sustrato formado, básicamente, por materiales silíceos: granito y gneis. Los suelos presentan texturas de arenosas a muy arenosas, con alta permeabilidad y total ausencia de carbonatos. El piñonero aparece mezclado en estas masas con pino negral y encina, intercalándose también el enebro. Son masas con estructura irregular, tradicionalmente sometidas a un intenso pastoreo.

Por último, hay que hacer mención de las citadas repoblaciones puras o mixtas con esta especie, que se sitúan en comarcas de las nueve provincias, frecuentemente de extensión reducida y que no permitirá su ordenación forestal, sino que constituye un elemento arbolado en un paisaje de tierras de secano.



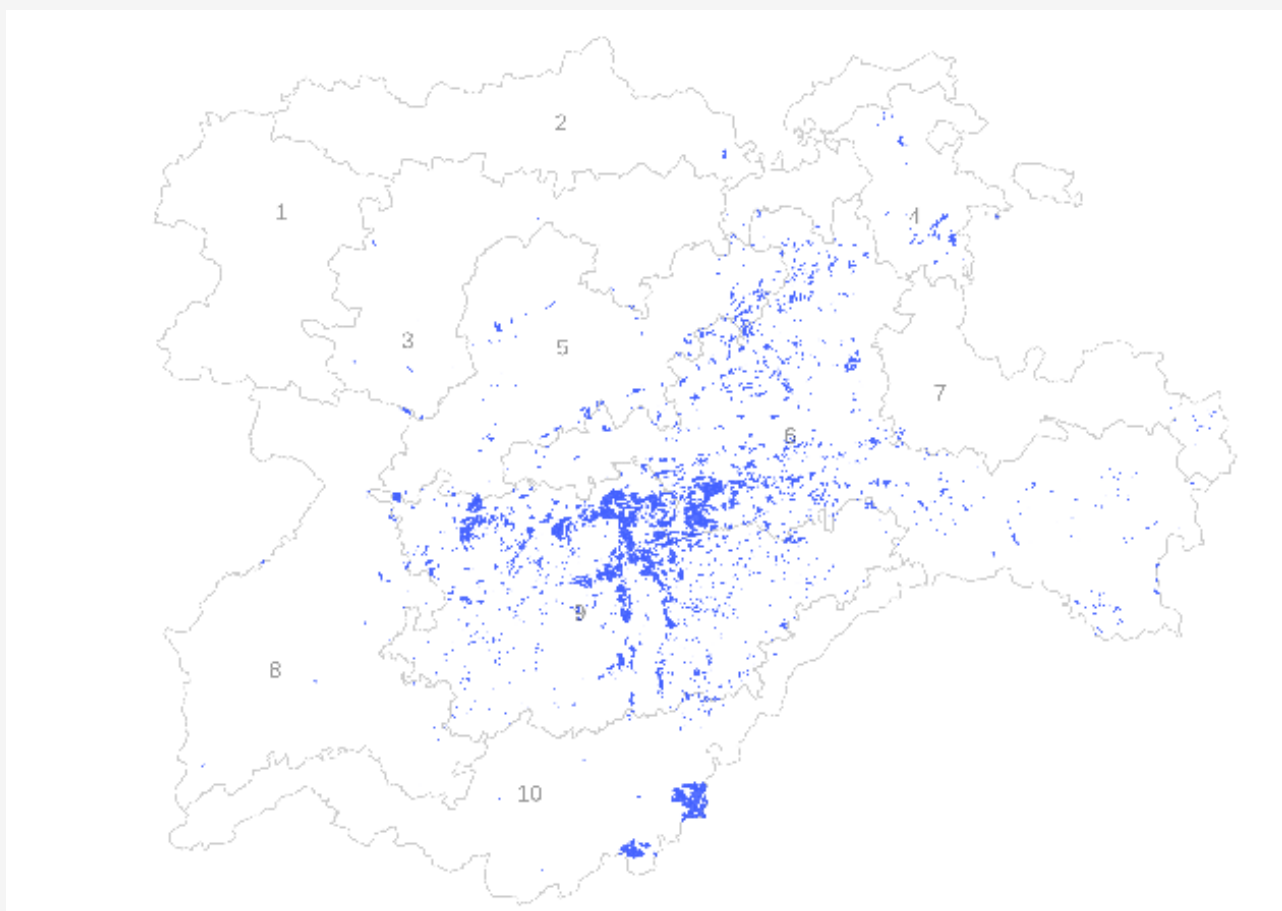
Pinar de *Pinus pinea* en páramo Calizo (MUP 107-110 El Carrascal, Quintanilla de Onésimo, Valladolid). Foto de CALAMA, R.



Masa regular de Pinus pinea con regenerado ya logrado y podado (Íscar, Valladolid). Foto de PICARDO, Á.



Pinar de Pinus pinea en los arenales de la Meseta Norte (Montes de Viana Cega, Valladolid). Foto de CALAMA, R.



Mapa de distribución de masas forestales con *Pinus pinea* como especie principal según comarcas en el ámbito de Castilla y León (1. Bierzo-Sanabria; 2. Montaña Cantábrica; 3. Páramos silíceos y ribera; 4. Burgos norte; 5. Tierra de campos; 6. Páramos calizos y Soria; 7. Sistema Ibérico; 8. Oeste; 9. Tierra de pinares; 10. Sistema Central). Fuente: Mapa Forestal Español de máxima actualidad © Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

VULNERABILIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO, IMPACTOS OBSERVADOS Y PREVISTOS

La mayor frecuencia en la ocurrencia de sequías en periodos tradicionalmente húmedos, como la primavera o el otoño, y el aumento de las temperaturas máximas y olas de calor persistentes estivales son factores climáticos clave frente a los que las masas de pino piñonero en Castilla y León presentan mayor vulnerabilidad. Estos factores climáticos están afectando de forma negativa a la consecución de la regeneración, a la vitalidad y al crecimiento del pinar adulto, provocando mayor susceptibilidad a plagas, fenómenos de decaimiento y mortalidad.

En las últimas décadas se han observado episodios de no consecución de la regeneración natural de masas de pino piñonero en los arenales de la Meseta tras la aplicación de tratamientos de corta a hecho en dos tiempos o por aclareo sucesivo uniforme, métodos que tradicionalmente permitían la regeneración sin problemas. En estas zonas se requiere, con frecuencia, apoyo por siembra o plantación.

La pobreza y textura suelta de las arenas (sustrato más que suelo) sobre las que se asientan los pinares, representa tradicionalmente problemas para la regeneración debido a su falta de retención de humedad edáfica y nutrientes, así como al sobrecalentamiento de su superficie bajo insolación directa, conllevando a riesgos de erosión eólica si no es sujetado por sistemas radicales de la vegetación o por una capa de macrorrestos leñosos.

El fracaso de regeneración es más evidente en las zonas más abiertas, con suelos muy arenosos o en zonas con empradizamiento y presencia de *Stypa*, así como tramos muy abiertos con arbolado adulto disperso y muy envejecido. Se observa cómo existen grandes huecos entre el arbolado adulto (mantenido en bajas espesuras para favorecer la producción de piña) a los que no llega la semilla dispersada, y que por tanto son difícilmente regenerados.

En el caso del pino piñonero se ha identificado un severo control climático sobre la producción de semilla (CALAMA et al., 2016), su germinación y la supervivencia estival de las plantas durante los primeros años tras la emergencia (MANSO et al., 2013, 2014). La disponibilidad de semilla ha caído en los últimos años por efecto conjunto de las sequías experimentadas en primavera y otoño (periodos clave

para la inducción floral en la especie) y de la chinche exótica *Leptoglossus occidentalis* (CALAMA et al., 2020), factores que se verán agravados en escenarios climáticos severos.

La germinación se dificulta en otoños y primaveras muy secos, especialmente en condiciones de plena luz, y la tasa de mortalidad estival fuera del área de influencia de copa puede alcanzar valores cercanos al 100% en años muy secos y calurosos. En años muy secos, la mortalidad puede afectar incluso al regenerado establecido de hasta un metro de altura. La regeneración de estas formaciones muestra dificultades por su alta dependencia de una serie seguida de años climáticamente favorables hasta conseguir la instalación efectiva de una nueva cohorte. El aumento pronosticado de ciclos de sequías extremas y las temperaturas estivales más elevadas agravarán esta dificultad de regeneración, puesto que hará que aumente el espaciamiento entre dos de estas ventanas temporales óptimas para regeneración. Esta dificultad en la regeneración, incluyendo la asistida por siembra o plantación, va a hacer que sea difícil mantener la regularidad de los rodales, tendiendo a estructuras semirregulares o irregulares.

En el caso de una reducción excesiva de la fracción de cobija cubierta en las cortas, o tras incendio, la regeneración se complica más aún, no produciéndose establecimiento de una cubierta continua de vegetación, limitada en muchos sitios durante años a un vuelo de hierbas fugaces estacionales. En estas condiciones, la poca materia orgánica no es retenida, sino meteorizada y lavada, haciéndose extremadamente difícil lograr una regeneración de entidad suficiente en superficie, incluso recurriendo a la siembra directa repetida, a la espera de la ocurrencia de una serie de años favorables que permitan prosperar finalmente a una cohorte de regeneración.

Por el contrario, y pese a la existencia de estas zonas problemáticas para la regeneración de pino piñonero donde esta se produce de forma exitosa, pueden encontrarse regenerados naturales hiperdensos (>10.000 pies/ha) en forma de golpes y bosquetes distribuidos de manera irregular en el

espacio (GORDO et al., 2009). Una situación similar sucede en siembras por líneas en pino piñonero, donde la separación de plantas dentro de la línea suele ser de 1 metro, o en el marco de muchas repoblaciones realizadas al amparo de los programas de Forestación de Tierras Agrarias, donde se realizaron plantaciones en densidades iniciales de hasta 1.250 pies/ha (marco 4x2) (GORDO et al., 2011).

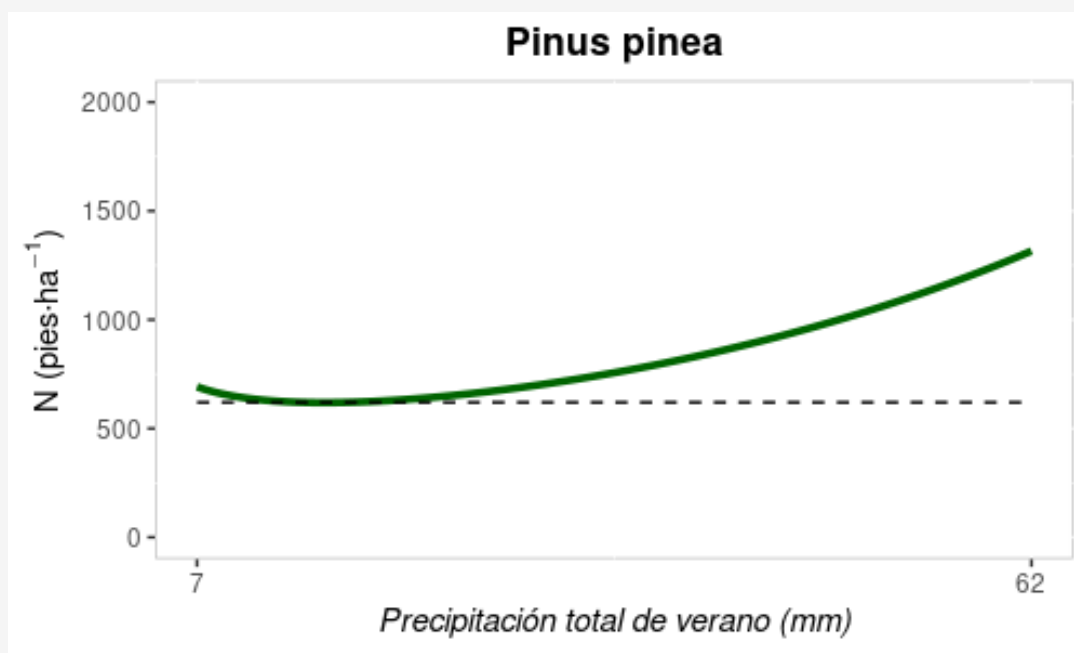
En el interior de estos regenerados hiperdensos, los fenómenos de competencia conducen a procesos de puntisecado tras años muy secos, lo que puede provocar que desde edades muy tempranas se produzcan malformaciones en fuste o copa debido a pérdida de la guía (DEL RÍO et al., 2011). Esta elevada densidad por falta de aplicación de una selvicultura precoz e intensa produce fenómenos de competencia muy intensa, estancamiento de la masa, exceso de esbeltez y acumulación de combustible seco en pie por la muerte de ramas inferiores, autoaclareo y acumulación de barrujo en el suelo, lo que provoca una continuidad horizontal y vertical del combustible e implica una alta vulnerabilidad frente a incendios. Por último, esta pérdida de vigor del regenerado lleva a una mayor vulnerabilidad frente a eventos abióticos o daños por plagas y/o enfermedades. Un retraso de los primeros claros (normalmente aplicado antes de los 20-25 años) puede provocar mortalidad por autoaclareo, estancamiento en el crecimiento, ataques por plagas y/o patógenos (pérdida de guías por *Rhyacionia buoliana*, defoliación masiva por procesionaria, focos de muerte por escolítidos), pero también un retardo en el crecimiento de fuste y copa, y con él en la obtención de cosechas de piña. Por el aumento observado y pronosticado en la frecuencia de periodos muy secos, todos estos fenómenos pueden verse agravados.

En el caso de los pinares adultos y maduros, se ha observado en los últimos años la aparición de fenómenos de decaimiento (copas ralas, disminución de cohortes de acícula verde, puntisecado) y muerte súbita (con follaje color tabaco), que dan lugar a la presencia de numerosos pinos secos en pie. Aunque estos fenómenos se observan en todo el territorio, son más habituales y patentes en las masas de las cuencas del Tiétar y del Alberche. Estos procesos de decaimiento se ven asociados a años de sequía intensa, y son más evidentes en masas muy densas y en pinares envejecidos. La generación de claros y rastos como consecuencia de estos fenómenos de decaimiento y mortalidad, unida a la falta de regeneración de la especie, va a dar lugar a cambios en la composición y a la creación de un mosaico de pinar y otras formaciones. En los pinares del Tiétar y el Alberche se observa una sustitución por parte de enebro y monte bajo de encina (CALAMA et al., 2014), mientras que en los páramos calizos son la

sabina y nuevamente la encina los que dominan el sotobosque. En los arenales de la meseta, en el caso de no regenerarse el pino, se produciría una degradación hacia bercial o retamar, pues es difícil conseguir la instalación de otras especies leñosas más exigente. Esto daría lugar a una sucesión regresiva hacia comunidades pioneras con un cambio de funcionalidad en el ecosistema a desarbolado.

Los impactos definidos se ven agravados en las comarcas con bajada de la capa freática debido a la extracción incontrolada para riego agrícola. Tiene un fuerte impacto, tanto por sobreexplotación a partir de abril-mayo, como por encharcamiento entre marzo-mayo a consecuencia de la recarga del acuífero de los arenales de forma artificial. Junto a los fenómenos descritos se observan problemas a nivel de raíz por un paso abrupto de condiciones de anoxia y encharcamiento en los suelos a carencia absoluta de agua durante el periodo de crecimiento de la especie. Junto al impacto en el pinar, podrían verse igualmente afectadas otras especies vegetales de perfil xerofítico sobre sustratos arenosos, como *Malcolmia triloba* o *Pistorinia hispanica*, fundamentalmente en los lugares de mayor encharcamiento, y también las especies líquénicas de suelo como *Cladonia rangiformis*, *Cladonia subrangiformis* o *Cetrarea aculeata*, sobre todo en periodos de encharcamiento agravados durante los eventos de lluvia torrencial. El aumento de la evapotranspiración por el cambio de saturación de agua en el suelo provoca riesgo de salinización en bodones, rastos y zonas endorreicas, por ejemplo, en los pinares cerca de Las Salinas (Medina de Campo).

Estudios sobre la máxima densidad de la masa, o máxima capacidad de carga de la especie, demuestran la influencia de las condiciones climáticas en la misma, con mayores densidades en estaciones con precipitaciones de verano superiores (ver figura) y con un índice de aridez menor (RODRÍGUEZ DE PRADO et al., 2021). La figura muestra cómo evoluciona la máxima densidad de la masa (línea de autoaclareo o valor de densidad máximo para un diámetro medio cuadrático de 25 cm, SDImax) según cambia el rango de precipitaciones de verano (julio, agosto y septiembre) en la estación. El área entre esta línea y la línea horizontal, que representa el SDImax medio a lo largo del gradiente climático, puede ser interpretado como un proxy de la vulnerabilidad de la máxima capacidad de carga de la especie ante distintas condiciones climáticas. En el caso del pino piñonero, los resultados sugieren que las masas que ya se encuentran en situaciones de mayor aridez serían menos vulnerables a la aridez estival que aquellas otras que todavía se sitúan en condiciones más méxicas, y que por ello serán menos resilientes para recuperar su densidad anterior a las mortalidades por sequías extremas.



Influencia climática de la máxima capacidad de carga (expresada como el Índice de Densidad Máximo de la Masa, SDImax) para Pinus pinea. La línea continua (verde) representa la estimación del SDImax utilizando el modelo climático-dependiente de mejor ajuste para la especie (precipitación total (mm) de verano (julio, agosto y septiembre)). La línea horizontal discontinua (negra) representa el valor de referencia de SDImax. Gráfico adaptado de RODRÍGUEZ DE PRADO et al. (2020).

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MEDIDAS RECOMENDADAS

Apoyar la dominancia y regeneración natural de *Pinus pinea*

Con el objetivo de favorecer la regeneración natural de las especies como respuesta a las cortas, las masas de pino piñonero deben llegar a final de turno con unas densidades en torno a 150 pies/ha y con una distribución uniforme de los pies en el espacio, de tal forma que se evite la existencia de grandes huecos de difícil regeneración, buscando la tangencia de copas. El arbolado remanente no debe ser extremadamente añoso, permaneciendo sano, con copas densas y crecimientos anuales vigorosos (no puntiseado), y mostrando producción de piña. En el caso de masas irregulares debe evitarse mantener pies decaídos o poco vigorosos bajo el área de influencia de las copas de individuos grandes y

productores de fruto para permitir la instalación de regenerado.

Bajo las condiciones óptimas y asegurando la disponibilidad de semilla suficiente, bien de forma natural o mediante siembras, se debe aplicar un sistema de cortas muy gradual, basado en una única corta preparatoria-diseminatoria de baja intensidad y varias cortas liberatorias del regenerado establecido bajo la cobertura de la copa. La programación de las cortas debe seguir al establecimiento conseguido del regenerado. Aplicando las medidas de adaptación propuestas, debiera conseguirse la regeneración de la mayor parte de los rodales de

piñonero, aunque con unas estructuras tendentes a la semirregularidad si la ocurrencia de las cortadas ventanas temporales de años consecutivos menos áridos, favorables a la regeneración, sigue disminuyendo.

Para lograr un área basimétrica objetivo en torno a 12 m²/ha, se recomienda la aplicación de una única corta preparatoria-diseminatoria de baja intensidad en la que se elimine en torno a un 33% de los pies. Esta corta ligera tiene como finalidad eliminar los pies malformados y poco vigorosos, favorecer puesta en luz limitada, y laborear el terreno por acción de la maquinaria, con el objetivo de favorecer la emergencia bajo el área de influencia de las copas remanentes. En la corta se evitará la creación de huecos de diámetro superior a 1 radio de copa para garantizar la llegada del piñón de piñonero (MANSO et al., 2012) y generar ambientes lumínicos favorables para la germinación y supervivencia inicial de las plántulas de ambas especies (CALAMA et al., 2015). Esta corta debe programarse en un año de fructificación abundante, y debe acompañarse de un acotado a la recogida de fruto. Se evitarán las cortas diseminatorias fuertes, así como las cortas a hecho en dos tiempos, conservando tras esta operación una densidad de al menos 100 pies/ha (GORDO et al., 2012).

Para garantizar la viabilidad del regenerado se propone la aplicación de cortas de liberación gradual del regenerado viable establecido bajo copa, con una periodicidad de 5 años y eliminación de un máximo del 50% del área basimétrica en cada intervención. Estas cortas deben iniciarse a 5-10 años respecto la preparatoria-diseminatoria, hasta que el regenerado establecido alcance una viabilidad óptima, lo que se conseguirá cuando tenga una altura de 40-50 cm y se haya producido el cambio de fase a acícula adulta (GORDO et al., 2012). Las cortas se harán de manera gradual (cada 5 años), liberando los golpes de

regenerado establecido bajo las copas y eliminando en cada intervención, como máximo, un 50% del área basimétrica remanente. Las cortas de liberación se extenderán el tiempo requerido para la regeneración del rodal, pudiendo dar lugar a estructuras semirregulares. Una vez concluida la liberación del regenerado, se mantendrán 5-10 pies/ha maduros como posible fuente semillera y productores de fruto una vez finalizado el periodo de regeneración y levantado el acotamiento a la recogida de fruto.

Durante las intervenciones de corta debe favorecerse el regenerado preestablecido viable y la conservación del mismo. Todo el regenerado preestablecido de pino piñonero y/o negral que se considere viable debe respetarse en la ejecución de las cortas, favoreciendo su liberación incluso en la corta preparatoria-diseminatoria. La medida puede extenderse a otras especies arbóreas (*Quercus ilex* o *Juniperus oxycedrus*) presentes. Por el contrario, el regenerado avanzado poco viable (muy poca acícula, exclusivamente follaje juvenil en pies anejos enebroides, porte tortuoso o malformado...) debe ser eliminado en la primera intervención.

En el caso de que transcurridos los primeros 8-10 años tras la aplicación de la corta preparatoria-diseminatoria no se haya establecido regenerado bajo las copas, bien en todo el rodal en regeneración o bien en algunas zonas, se procederá a realizar siembras. La preparación será mecanizada, en líneas o manual, centrada bajo el área de cobertura de las copas remanentes. Las siembras se realizarán a comienzo del otoño con el propósito de garantizar la germinación otoñal, lo que permite a las plántulas alcanzar un desarrollo radical importante antes de la sequía estival, evitando así la presión predatoria de los roedores durante el invierno (MANSO et al., 2014).

Controlar la densidad de la masa para reducir el estrés hídrico y mejorar su estado de vitalidad

Se propone aplicar clareos precoces y fuertes en plantaciones densas, siembras o regenerados naturales hiperdensos de *Pinus pinea*. La situación óptima debe buscar, para rodales con altura media de 2 m (edades en torno a los 10 años) densidades máximas entre 400-600 pies/ha distribuidos de manera uniforme en el espacio. De esta forma podrá aplicarse una segunda intervención a los 15-20 años de edad, cuando la masa tenga una altura en torno a 4 m, reduciendo la densidad en otro 50% de la existente. En la primera intervención, los pies

remanentes no deben presentar malformaciones y deben tener copas densas con follaje abundante y brotes anuales vigorosos. En regenerados hiperdensos por golpes o bosquetes distribuidos de manera irregular por el rodal, el clareo se realizará de forma manual y selectiva dentro del bosque. Se buscará intervenir antes de que se produzcan fenómenos de pérdida de guía por puntiseado, estancamiento o incluso mortalidad por autoclareo. Para estructurar la masa y abaratar costes, en el caso de plantaciones densas, la intervención puede ser de

tipo semisistématico (eliminando una línea de cada dos e interviniendo de forma selectiva en la línea que queda) o selectivo puro, buscando alcanzar las densidades propuestas.

Bajo la situación óptima, las masas estarán en condiciones de poder orientarse a cualquiera de los itinerarios selvícolas que se planteen, facilitando la diferenciación de los pies en clases sociales, selección de árboles de porvenir, menores coeficientes de esbeltez en los individuos, evitar puntisecados y

mortalidad por autoclareo, etc. (GORDO et al., 2011; PARDOS et al., 2018).

La realización del clareo precoz (eliminación mecánica de árbol entero) puede permitir retrasar la aplicación de la poda inicial en el resto de la masa, que puede realizarse en la segunda intervención. Asimismo, se favorecerá desde edades iniciales la expansión lateral de las copas altas y la ocupación del espacio disponible, que permite optimizar y adelantar la producción de piña.

Gestionar la competencia en masas mixtas

En aquellos rodales de *Pinus pinea* donde, por fallos en la regeneración y apertura de huecos como consecuencia de la mortalidad de arbolado adulto, se esté recuperando de manera natural un subpiso de encina, quejigo, sabina o enebro, la gestión debe orientarse al mantenimiento y regeneración de todas las especies presentes (GARCÍA-GÜEMES & CALAMA, 2015). El mantenimiento de la diversidad específica garantiza la continuidad de una cobertura arbolada incluso en el caso de desaparición de una de las especies. La silvicultura propuesta debe contemplar la regeneración del pinar mediante aplicación de cortas de entresaca, un resalveo intenso sobre el monte bajo de *Quercus*, el mantenimiento de árboles percha maduros para favorecer la

instalación de *Juniperus* y la posterior liberación de los individuos establecidos. En este tipo de masas se ha observado una mayor productividad del pinar (CALAMA et al., 2021) y mayor resistencia frente a sequía (DE DIOS et al., 2015) en comparación con las masas puras. Sin embargo, y debido a la continuidad vertical del combustible que supone el mantenimiento de especies que ocupan distintos estratos, la densidad del subpiso de *Quercus* y *Juniperus* debe ser necesariamente baja. Un modelo de gestión similar debe aplicarse en las repoblaciones con *Pinus pinea*, donde el acotado y sombrero ha permitido la recuperación de *Quercus ilex* y *Quercus faginea*.

Adecuar la estructura de la masa para aumentar su resistencia frente a incendios forestales

Es posible el retraso de la poda de realce hasta la segunda intervención. Aplicando un clareo precoz, la finalidad de la poda inicial de penetración (poda de fuste de hasta 1 m de altura), que es la prevención frente a incendios, se consigue al romper la continuidad horizontal del combustible. Si la poda inicial se retrasa hasta la segunda intervención, ya se podrá hasta una altura de 2 m, tras evitar la merma en

crecimiento asociada a podas precoces (MONTERO et al., 1999). En el caso de rodales en regeneración donde se esté produciendo la entrada de encina u otras especies acompañantes, o en rodales en decaimiento donde se produzca el mismo fenómeno, la consecución de una estructura resistente frente a incendios forestales obliga a realizar un resalveo intenso de las matas de carrasca.

Contribuir a la protección y restauración de la calidad y fertilidad de los arenales

Esta medida tiene como objeto mantener y restaurar la calidad y fertilidad del suelo de los pinares sobre arenales. Ante la falta casi completa de la fracción de finos por el origen eólico o fluvial del manto de arenas, una forma viable de mejorar el suelo es la retención e incorporación del máximo posible de materia orgánica para cambiar la inercia edáfica detenida en una escasa capa de pinocha sobre arenas casi limpias con pocas raíces. Si la materia orgánica puede actuar de primer buffer para humedad y nutrientes, esto permitirá además una biocenosis edáfica más rica que en las arenas estériles actuales, propiciando una bioturbación y una edafogénesis que en la actualidad está prácticamente arrestada. Para ello se propone la incorporación de restos de

corta, astillados u otra materia orgánica procedente de trituración in situ en superficie o mediante un gradeado, enriqueciendo la estructura y composición del primer horizonte.

Como nota final, podría ser interesante evaluar de manera experimental y controlada, la posibilidad y viabilidad de aplicar enmiendas para mejorar estructura, capacidad de retención de agua y composición del suelo de los arenales, por ejemplo, con una fracción de carbón vegetal (biochar), emulando experiencias de exportar el modelo de “terra preta” a suelos europeos.

PROPUESTA DE ENCLAVES O ZONAS DE ANÁLISIS POR COMARCAS EN CASTILLA Y LEÓN

Debe prestarse especial atención a las siguientes zonas de pinar:

- i. Montes de Cuéllar y Coca en Segovia (reintroducción de pino piñonero en pinar mixto para aumentar la resiliencia de los pinares de negral) en la comarca 9
- ii. Sección IIIª del Monte nº 48 del catálogo de U.P. de la provincia de Segovia (Común Grande de las Pegueras) en la comarca 9
- iii. Pinar de Gomezserracín (Segovia) en la comarca 9
- iv. Pinar del Asocio (Ávila) en la comarca 10
- v. MUP 17 Nava del Rey (Valladolid) en la comarca 9

REFERENCIAS

- CALAMA, R., PARDOS, M., MAYORAL, C., MADRIGAL, G., CONDE, M., & SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M. 2014. REGENERACIÓN DE *PINUS PINEA* Y *JUNIPERUS OXYCEDRUS* EN MASAS MIXTAS PIÑONERO-ENCINA-ENEBRO EN LOS VALLES DEL TIÉTAR Y DEL ALBECHÉ (SISTEMA CENTRAL, ESPAÑA). CUADERNOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES, (40), 75-86. [HTTP://SEFORESTALES.ORG/PUBLICACIONES/INDEX.PHP/CUADERNOS_SECF/ARTICLE/VIEW/17339/17163](http://seforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/17339/17163)
- CALAMA, R., PUÉRTOLAS, J., MANSO, R., & PARDOS, M. 2015. DEFINING THE OPTIMAL REGENERATION NICHE FOR *PINUS PINEA* L. THROUGH PHYSIOLOGY-BASED MODELS FOR SEEDLING SURVIVAL AND CARBON ASSIMILATION. TREES, 29(6), 1761-1771. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S00468-015-1257-5](https://doi.org/10.1007/s00468-015-1257-5)
- CALAMA, R., GORDO, J., MADRIGAL, G., MUTKE, S., CONDE, M., MONTERO, G., & PARDOS, M. 2016. ENHANCED TOOLS FOR PREDICTING ANNUAL STONE PINE (*PINUS PINEA* L.) CONE PRODUCTION AT TREE AND FOREST SCALE IN INNER SPAIN. FOREST SYSTEMS, 25(3), e079. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.5424/FS/2016253-09671](http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016253-09671)
- CALAMA, R., GORDO, J., MUTKE, S., CONDE, M., MADRIGAL, G., GARRIGA, E., ARIAS, M. J., PIQUÉ, M., GANDÍA, R., MONTERO, G., & PARDOS, M. 2020. DECLINE IN COMMERCIAL PINE NUT AND KERNEL YIELD IN MEDITERRANEAN STONE PINE (*PINUS PINEA* L.) IN SPAIN. iFOREST 13: 251-260. [HTTPS://DOI.ORG/10.3832/IFOR3180-013](https://doi.org/10.3832/IFOR3180-013)
- CALAMA, R., DE-DIOS.GARCÍA, J., DEL RÍO, M., MADRIGAL, G., GORDO, F.J., PARDOS, M. 2021. MIXTURE MITIGATES THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE PROVISION OF RELEVANT ECOSYSTEM SERVICES IN MANAGED *PINUS PINEA* L. FORESTS. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT 481, 118782. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2020.118782](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118782)
- DE DIOS GARCÍA, J., PARDOS, M., & CALAMA, R. 2015. INTERANNUAL VARIABILITY IN COMPETITIVE EFFECTS IN MIXED AND MONOSPECIFIC FORESTS OF MEDITERRANEAN STONE PINE. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT, 358, 230–239. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2015.09.014](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.014)
- DEL RÍO, M., AGUIRRE, M., CALAMA, R., MADRIGAL, G., GORDO, F. J., FINAT, L., ÁLVAREZ, D., MONTERO, G., & MUTKE, S. 2011. EARLY THINNING FOR CROWN EXPANSION AND DROUGHT STRESS REDUCTION. AGROPINE2011. INTERNATIONAL MEETING ON MEDITERRANEAN STONE PINE FOR AGROFORESTRY. VALLADOLID-SPAIN.
- GARCÍA-GÜEMES, C., & CALAMA, R. 2015. LA PRÁCTICA DE LA SELVICULTURA PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. EN: LOS BOSQUES Y LA BIODIVERSIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPACTOS, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN EN ESPAÑA. MITECO. 501-512. [HTTPS://WWW.MITECO.GOB.ES/ES/CAMBIO-CLIMATICO/TEMAS/IMPACTOS-VULNERABILIDAD-Y-ADAPTACION/PLAN-NACIONAL-ADAPTACION-CAMBIO-CLIMATICO/BIODIVERSIDAD.ASPX](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/biodiversidad.aspx)
- GORDO, F. J., FINAT, L., & HERNÁNDEZ, J. A. 2002. ORDENACIÓN Y MEJORA DE LA CUBIERTA ARBÓREA EN MONTES DE UP ASENTADOS SOBRE DEPÓSITOS ARENOSOS CUATERNARIOS EN LA COMUNIDAD DE VILLA Y TIERRA DE PORTILLO (VALLADOLID). MONTES, 67, 92-103.
- GORDO, F. J., ROJO, L. I., FINAT, L., & HERNÁNDEZ, J. 2011. ¿QUÉ HACER CON LAS REPOBLACIONES PAC DE *PINUS PINEA* L. EN LA MESETA NORTE? FORESTALIS, 18, 32-35. [HTTPS://WWW.FAFCYLE.ES/PROJECT/REVISTA-FORESTALIS-NO-18/](https://www.fafcycle.es/project/revista-forestalis-no-18/)
- GORDO, J., CALAMA, R., PARDOS, M., BRAVO, F., & MONTERO, G. 2012. LA REGENERACIÓN NATURAL DE LOS PINARES EN LOS ARENALES DE LA MESETA CASTELLANA. INSTITUTO UNIVERCITARIO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE UVA-INIA. [HTTP://SOSTENIBLE.PALENCIA.UVA.ES/SYSTEM/FILES/PUBLICACIONES/LA REGENERACION NATURAL EN LOS PINARES EN LOS ARENALES DE LA MESETA CASTELLANA.PDF](http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/la-regeneracion-natural-en-los-pinares-en-los-arenales-de-la-meseta-castellana.pdf)
- GORDO, J., CALAMA, R., ROJO, L. I., MADRIGAL, G., ÁLVAREZ, D., MUTKE, S., ..., & FINAT, L. 2009. EXPERIENCIAS DE CLAREOS EN MASAS DE *PINUS PINEA* L. EN LA MESETA NORTE. ACTAS DEL 5º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL. [HTTPS://WWW.CONGRESOFORESTAL.ES/FICHERO.PHP?T=12225&I=287&M=2185](https://www.congresoforestal.es/fichero.php?t=12225&i=287&m=2185)
- MANSO, R., FORTIN, M., CALAMA, R., & PARDOS, M. 2013. MODELLING SEED GERMINATION IN FOREST TREE SPECIES THROUGH SURVIVAL ANALYSIS. THE *PINUS PINEA* L. CASE STUDY. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT, 289, 515–524. [HTTPS://DOI.ORG/HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2012.10.028](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.028)
- MANSO, R., PARDOS, M., & CALAMA, R. 2014. CLIMATIC FACTORS CONTROL RODENT SEED PREDATION IN *PINUS PINEA* L. STANDS IN CENTRAL SPAIN. ANNALS OF FOREST SCIENCE, 71(8), 873-883. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S13595-014-0396-Y](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13595-014-0396-y)

MANSO, R., PARDOS, M., KEYES, C. R., & CALAMA, R. 2012. MODELLING THE SPATIO-TEMPORAL PATTERN OF PRIMARY DISPERSAL IN STONE PINE (*PINUS PINEA* L.) STANDS IN THE NORTHERN PLATEAU (SPAIN). ECOLOGICAL MODELLING, 226, 11-21. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ECOLMODEL.2011.11.028](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.11.028)

MONTERO, G., & CAÑELLAS, L. 1999. SUSTAINABLE MANAGEMENT OF MEDITERRANEAN FORESTS IN SPAIN. UNASYLVA-FAO, 29-34. [HTTPS://HDL.HANDLE.NET/10535/8447](https://hdl.handle.net/10535/8447)

MONTERO, G., CALAMA, R., & RUIZ-PEINADO, R. 2008. SELVICULTURA DE *PINUS PINEA* L. EN: COMPENDIO DE SELVICULTURA. INIA-FUCOVASA. [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/267642086_SELVICULTURA_DE_PINUS_PINEA](https://www.researchgate.net/publication/267642086_SELVICULTURA_DE_PINUS_PINEA)

PARDOS, M., VÁZQUEZ-PIQUÉ, J., ALEJANO, R., G, M., PASCUAL, S., GONZÁLEZ-CASCÓN, R., MUTKE, S., GORDO, J., & CALAMA, R. 2018. LINKING CLIMATE, PHYSIOLOGY AND INTRA-ANNUAL SECONDARY GROWTH IN A INTRASPECIFIC COMPETITION TRIAL OF *PINUS PINEA* L. TRACE 2018 CONFERENCE GREIFSWALD, APRIL 24-27 2018.

RODRÍGUEZ DE PRADO, D., SAN MARTÍN, R., BRAVO, F., & DE AZA, C. H. 2020. POTENTIAL CLIMATIC INFLUENCE ON MAXIMUM STAND CARRYING CAPACITY FOR 15 MEDITERRANEAN CONIFEROUS AND BROAD-LEAF SPECIES. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT, 460, 117824. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2019.117824](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117824)

SOLIÑO, M., YU, T., ALÍA, R., AUÑÓN, F., BRAVO-OVIEDO, A., CHAMBEL, M. R., DE MIGUEL, J., DEL RÍO, M., JUSTES, A., MARTÍNEZ-JAUREGUI, M., MONTERO, G., MUTKE, S., RUIZ-PEINADO, R., & GARCÍA DEL BARRIO, J. M. 2018. RESIN-TAPPED PINE FORESTS IN SPAIN: ECOLOGICAL DIVERSITY AND ECONOMIC VALUATION. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 625, 1146-1155. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SCITOTENV.2018.01.027](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.027)