

8.2.7. PINARES DE *PINUS* *NIGRA*

CELIA HERRERO DE AZA; DAVID CANDEL PÉREZ

DESCRIPCIÓN ECOLÓGICA

Los pinares de pino laricio (*Pinus nigra*) de alta montaña del sistema Ibérico están formados por ejemplares de esta especie en mezcla con pino silvestre, constituyendo formaciones abiertas con un manto arbustivo de *Juniperus sabina*, *J. communis*, *Erinacea anthyllis*, *Astragalus granatensis*, *Vella spinosa*, etc. Los pinares de media montaña suelen ser bosques relativamente espesos caracterizados por su flora submediterránea típica: *Juniperus communis*, *Acer monspessulanum*, *Amelanchier ovalis*, *Sorbus aria*, *Buxus sempervirens*, *Juniperus thurifera*, *Helleborus foetidus*, *Geum sylvaticum*, *Hepatica nobilis*, *Thalictrum tubero*. En Castilla y León, según los datos del Cuarto Inventario Forestal Nacional¹, se han incrementado las formaciones mixtas de *Pinus nigra* con distintas especies como, por ejemplo, en Soria y Burgos mezcla con sabina albar, encina, quejigo y pino silvestre; en Palencia, Segovia y León, mezcla con *Quercus pyrenaica*, *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris*. Según el Mapa Forestal Español, la superficie de masas de pino laricio en la región asciende a

106.252 ha².

Los bosques dominados por pino laricio forman hábitats de gran interés y uno de los sistemas forestales mediterráneos más importantes. Ya sea por las características propias de la especie y la biodiversidad asociada del hábitat, o por la gran diversidad de usos y funciones que se le atribuyen, han sido demandados por la sociedad desde antaño (p.e., postes de cableado). Además, los bosques maduros llevan asociada una alta biodiversidad de hongos y setas, así como de otros productos no madereros.

Los bosques de pino laricio vegetan, principalmente, sobre sustratos carbonatados (calcáreos) aunque también sobre sustrato silíceo como en Sierra de Gredos, en el piso montano inferior, usualmente entre los 400 y los 1.400 m de altitud (aunque, más frecuentemente, entre los 500 y los 1.000 m), sobre todo en laderas orientadas al norte en zonas de clima mediterráneo continental. Son bosques dominados por el pino laricio,

¹ Cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4) de España: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional/cuarto_inventario.aspx

² Teselas con *Pinus nigra* 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>

característicos de las zonas de montaña de la cuenca mediterránea, a menudo constituyendo bosques densos de estructura cerrada, que preferentemente aparecen sobre sustratos de naturaleza calcárea y también sobre sustratos ricos en magnesio (dolomías y serpentinas).

Además de las masas naturales, el pino salgareño (cómo también se conoce esta especie arbórea) está muy extendido en las repoblaciones establecidas para la recuperación de laderas y cárcavas de la década de los sesenta, realizadas con materiales forestales de reproducción de procedencia exógena.

Aparte de su especial adaptación y alta capacidad de desarrollo en sustratos ricos en magnesio, el pino laricio presenta una serie de características adaptativas al clima submediterráneo-continental que le otorga una alta capacidad competitiva y mayor potencial de crecimiento frente a otras especies de frondosas (principalmente encinas y quejigos) y de coníferas (sabinas albares) con las que convive. El pino laricio puede tener diversos papeles dentro de la dinámica forestal, ya que puede actuar

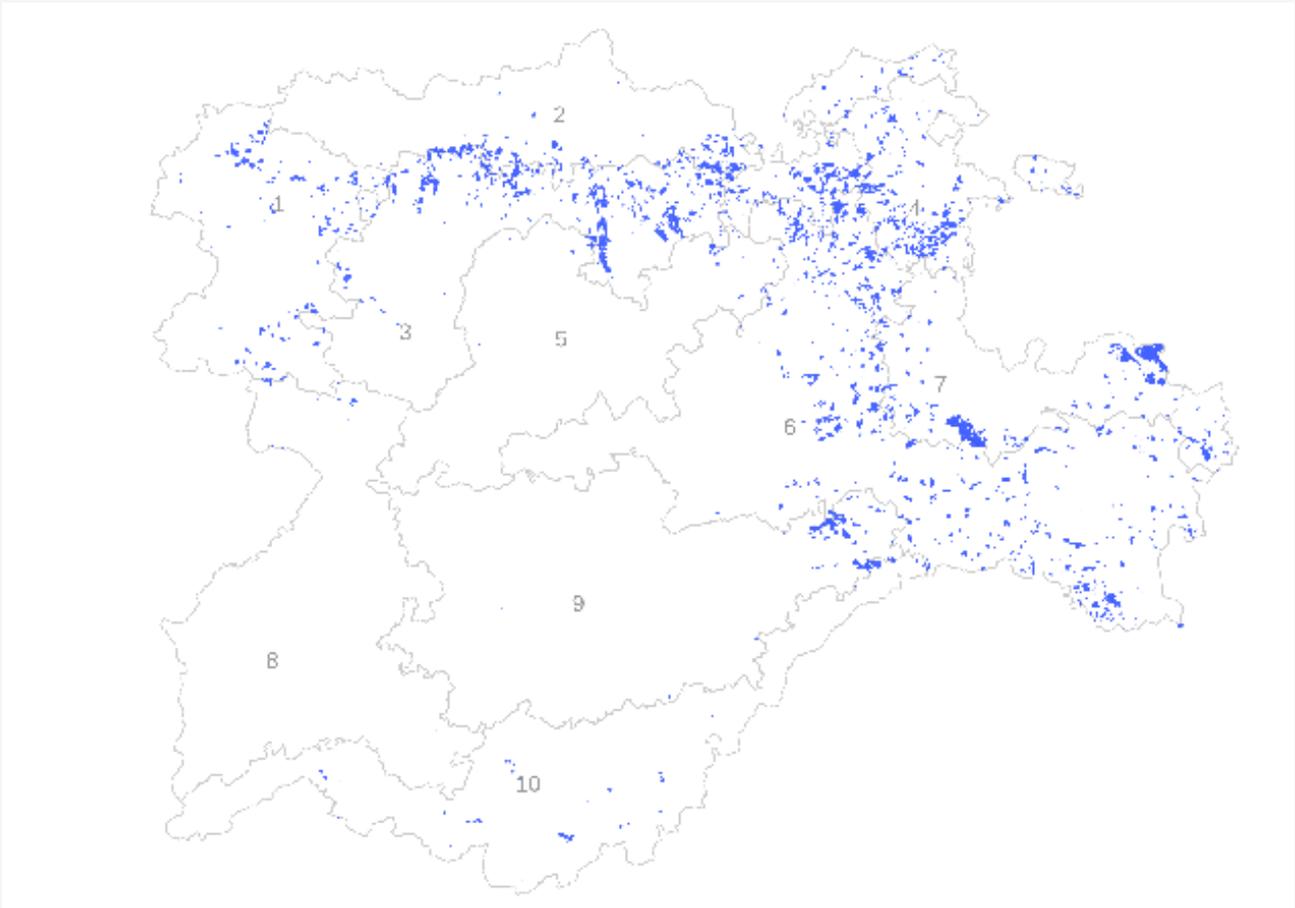
como especie pionera y frugal en la expansión del bosque hacia espacios abiertos (normalmente pastos) y acabar siendo la especie estructural en bosques maduros y longevos, en especial por su capacidad para regenerarse bajo cubierta, siendo dicha cubierta propia o de otras especies (BELTRÁN et al., 2012, 2018). Al mismo tiempo, tiene un papel importante por la facilitación del desarrollo de especies arbóreas y arbustivas en ambientes más o menos umbrófilos. En determinadas condiciones ecológicas, el pino laricio puede caracterizarse por una longevidad notablemente elevada en comparación con la de otros pinos, del orden de ochocientos años. Estas características de la especie (mayor longevidad, tolerancia a la sombra, capacidad de regeneración bajo cubierta, resistencia a las heladas, adaptación al fuego de baja intensidad en etapas adultas) y de las estaciones que ocupa (adecuado régimen hídrico, suelo y temperaturas), hacen que esta especie presente un gran potencial para generar estructuras de bosque maduro, lo cual aporta un elemento de valor a este hábitat por la biodiversidad asociada.



Masas de pino laricio (*Pinus nigra*) (Cañón del río Lobos, Soria). Foto de CANDEL-PÉREZ, D.



Repoblación de pino laricio (*Pinus nigra*) afectada por procesionaria (Saldaña, Palencia). Foto de CANDEL-PÉREZ, D.



Mapa de distribución de masas forestales con *Pinus nigra* 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.

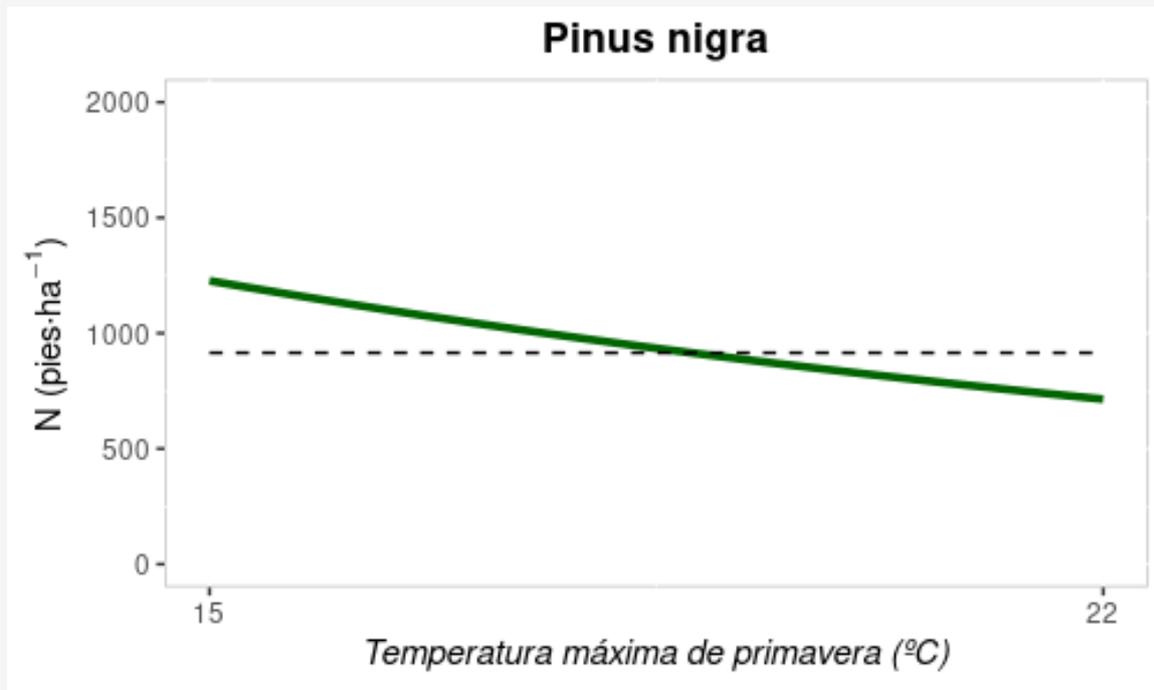
VULNERABILIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO, IMPACTOS OBSERVADOS Y PREVISTOS.

La vulnerabilidad de los pinares de laricio está influenciada por dos factores clave: 1) un incremento de temperatura y aridez (p.e., una mayor temperatura en otoño y en invierno, una mayor frecuencia de heladas tardías y una mayor aridez en primavera y sequía estival) y 2) una mayor frecuencia de incendios forestales. Aunque en este apartado pondremos mayor énfasis en los impactos observados y previstos relativos al primer punto, ambos factores están muy relacionados pues el cambio global también está agravando la ocurrencia de grandes perturbaciones como los incendios forestales. De forma general, se prevé un menor crecimiento y vitalidad, junto con una menor productividad y un mayor decaimiento, así como problemas en la regeneración de masas de pino laricio.

Respecto a la vulnerabilidad por aumento de temperatura, CANDEL-PÉREZ et al. (2012) analizaron el patrón de crecimiento del pino laricio para realizar predicciones de crecimiento, mostrando un menor incremento de área basal después de un otoño cálido, sugiriendo una disminución en la acumulación de carbohidratos (o un aumento del gasto respiratorio) y la disminución del tamaño de la zona del cambium desarrollado durante el otoño anterior. Los futuros escenarios climáticos previstos podrían beneficiar a algunas poblaciones y a la vez inducir el declive de otras, teniendo una respuesta heterogénea (CANDEL-PÉREZ et al., 2012; LINARES & TISCAR, 2010). De este modo, el aumento de las temperaturas de invierno podría ampliar el periodo de crecimiento disponible (BOISVENUE & RUNNING,

2006; WULLSCHLEGER et al., 2002), mientras que una disminución simultánea en la disponibilidad hídrica podría reducir el crecimiento total debido a la disminución en la tasa de fijación de carbono que induce la sequía (MCDOWELL et al., 2008). Así, CANDEL-PÉREZ et al. (2012) mostraron una correlación positiva con las temperaturas de invierno y de otoño, mientras que también encontraron que el aumento de la temperatura de verano incrementó el estrés hídrico y disminuyó el crecimiento del pino laricio.

Los resultados del trabajo realizado por RODRÍGUEZ DE PRADO et al. (2020) muestran que se va a reducir la línea de autoaclareo según cambien las condiciones climáticas. 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, SDI_{max}) según cambia el rango de temperaturas en la estación. El área entre esta línea y la línea horizontal, que representa el SDI_{max} 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 este caso, el área resultante entre las curvas de SDI_{max} dibujadas es algo significativa, puesto que la curva de SDI_{max} se desvía respecto de la referencia, de modo que, bajo futuros escenarios de mayor temperatura y aridez, las masas de pino laricio serán más sensibles y vulnerables al cambio climático, afectando al estado de vitalidad de las mismas.



Influencia climática de la máxima capacidad de carga (expresada como el Índice de Densidad Máximo de la Masa, SDImax) para Pinus nigra. La línea continua (verde) representa la estimación del SDImax utilizando el modelo climático-dependiente de mejor ajuste para la especie (temperatura máxima (°C) de primavera (abril, mayo y junio)). La línea horizontal discontinua (negra) representa el valor de referencia de SDImax. Gráfico adaptado de RODRÍGUEZ DE PRADO et al. (2020).

Por otra parte, el incremento de la aridez previsto por el cambio climático y asociado al aumento del estrés hídrico es previsible que provoque un descenso en la tasa de fijación de carbono y una reducción del crecimiento (PEÑUELAS et al., 2001; SÁNCHEZ-SALGUERO et al., 2012) y de la productividad. En la actualidad, en las zonas más bajas y secas de su rango de distribución, las masas de pino laricio presentan dificultades de desarrollo, mientras que en cotas en torno a 600 a 1.000 m de altitud vegetan muy bien y se realizan aprovechamientos rentables (p.e., claras productivas).

La falta de crecimiento y productividad se ha relacionado con síntomas de decaimiento y con un incremento de la mortalidad en diversas especies (ALLEN et al., 2010; PEÑUELAS et al., 2001), siendo estos efectos más acusados en aquellas poblaciones situadas en el límite sur de su distribución, al igual que en masas de pino silvestre (CAMARERO et al., 2012). Este podría ser también el caso del pino laricio, debido a que los modelos climáticos a escala regional predicen, para los sistemas montañosos de la cuenca mediterránea, incrementos de temperatura un poco más altos en comparación con las regiones circundantes (IPCC, 2007), convirtiéndose

los bosques de zonas montañosas mediterráneas en espacios particularmente sensibles al cambio climático (DE LUIS et al., 2007; LINARES & TÍSCAR 2010, 2011; MARTÍN-BENITO et al., 2010; MATÍAS, 2012; SÁNCHEZ-SALGUERO et al., 2012). Varios estudios sobre fenómenos de mortalidad y decaimiento forestal (DOBBERTIN, 2005; DOBYSHEV et al., 2007; LINARES et al., 2012) muestran una correlación significativa entre la anchura de los anillos de crecimiento de los árboles y el grado de defoliación de las copas en varias especies de toda Europa (DOBBERTIN, 2005). El descenso del incremento de área basal (CANDEL-PÉREZ et al., 2012; DUCHESNE et al., 2003), ha sido utilizado como un indicador que precede a la aparición de síntomas visibles de defoliación en copa y que permite una evaluación temprana del vigor del arbolado. Para el pino laricio, SÁNCHEZ-SALGUERO et al. (2012) desarrollaron modelos de decaimiento, los cuales constituyen herramientas muy útiles que informan sobre la vitalidad de esta especie. Estos modelos de defoliación de copa explicaron el decaimiento en función de variables relacionadas con la competencia entre árboles (p.ej. diámetros de tronco y de copa) y las condiciones climáticas. Otros estudios

muestran que el crecimiento está fuertemente limitado por la relación entre la disponibilidad de agua y la demanda atmosférica (MARTÍNEZ-VILALTA et al., 2008), ya que la evapotranspiración potencial es una variable clave en los modelos de decaimiento y crecimiento. Se deben tener en cuenta las nuevas condiciones ambientales, en general más restrictivas para el crecimiento del bosque, dando lugar a procesos de decaimiento relacionados con el aumento de la aridez y con la disminución de las precipitaciones de primavera y principios de verano (ANDREU et al., 2007; CAMARERO et al., 2004; HERRERO et al., 2013; MARTÍNEZ-VILALTA et al., 2008; SÁNCHEZ-SALGUERO et al., 2013). Además, otros trabajos demuestran una clara influencia del clima y la estructura del rodal en el crecimiento del pino laricio (CANDEL-PÉREZ et al., 2022), determinando que la influencia de diferentes variables climáticas sobre el crecimiento depende de variables estructurales, como la edad del rodal. Esta sensibilidad al clima del crecimiento a largo plazo puede ser una señal de alerta temprana de un mayor impacto en la dinámica de los bosques de pino laricio ibéricos, debido a la tendencia al calentamiento y la disminución de las precipitaciones para las próximas décadas. Sin embargo, estos pronósticos indican un papel relevante de la estructura de la masa, y por tanto de la gestión aplicada, para amortiguar o intensificar los impactos climáticos en el crecimiento y la productividad de estas masas.

Además, los efectos de fenómenos extremos (principalmente, las sequías extremas) pueden tener drásticas consecuencias sobre la regeneración del pino laricio (TÍSCAR & LINARES, 2014; TÍSCAR & LUCAS-BORJA, 2010). El pino laricio es considerado una especie de regeneración difícil, al menos dentro del esquema espacio-temporal que proponen algunos tratamientos selvícolas y métodos de ordenación de montes (CANDEL-PÉREZ, 2014). Esta dificultad está relacionada con diversas causas, como son la filogenia de la especie, la climatología, posibles perturbaciones actuantes, el tipo de tratamientos aplicados, el medio de germinación de las semillas, la incidencia de la herbivoría, la vecería de la especie o la combinación de todos estos factores (CANDEL-PÉREZ, 2014). Debido a la complejidad de la regeneración del pino laricio, existen contradicciones en diferentes trabajos debidas a la incidencia de los múltiples factores, cuya influencia todavía se desconoce, y a la diversidad de las estaciones en las que es capaz de desarrollarse. Sin embargo, la temperatura y la precipitación, fundamentalmente estival, se consideran factores claves para conseguir una regeneración natural óptima del pino laricio. Además, según algunos autores (MONTSERRAT, 1988), las tormentas estivales que caracterizan las zonas montañosas continentales de los bosques de

pino salgareño son básicas para asegurar el éxito de la regeneración. Esto es debido a que las semillas necesitan condiciones ambientales y edáficas más restrictivas que las de otros pinos (*Pinus halepensis* o *P. sylvestris*), o incluso que las requeridas por los robles mediterráneos a la hora de rebrotar. En general, las semillas necesitan el contacto con el suelo mineral y, a la vez, cierta humedad y cobertura para evitar la insolación directa, por lo que el sotobosque establece una compleja relación de competencia-facilitación con el pino laricio. Por tanto, bajo un posible aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones, la regeneración del pino laricio puede verse afectada por estos nuevos escenarios previstos. Otros autores han analizado el efecto de otras variables en la regeneración del pino laricio, como son el origen de las semillas y el lugar de plantación (diferencias climáticas y altitudinales), mostrando que el condicionante más importante en el establecimiento del pino laricio es la falta de resistencia a la sequía en sus etapas iniciales de vida (LUCAS-BORJA et al., 2022).

Los nuevos condicionantes asociados al cambio climático, que perjudican a las poblaciones de pino laricio, también generan impactos que afectan a la vitalidad de las masas, como una mayor incidencia de plagas y enfermedades. De este modo, se observa un mayor grado de afectación y ataques por procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*), especialmente en zonas de páramo. La expansión de la procesionaria del pino está relacionada con las cada vez más elevadas temperaturas, que favorecen su progresión altitudinal y la colonización de especies termófilas, asociada a la falta de predadores en las áreas colonizadas y la abundancia de hospedantes. Las poblaciones endémicas de procesionaria desempeñan un papel importante en los bosques de coníferas a través de la polinización y el ciclo de nutrientes, integrándose en las cadenas tróficas. No obstante, las defoliaciones de procesionaria pueden provocar importantes daños en los bosques de coníferas, reducir el crecimiento de los árboles e incluso provocar la muerte de los individuos afectados (GÓMEZ et al., 2022). La evolución de las poblaciones de procesionaria está regulada fundamentalmente por variables climáticas, como las temperaturas, la precipitación y la radiación, o por interacciones con otras especies. Algunos factores que también son importantes para la expansión de la procesionaria son los relacionados con la estructura forestal, como la densidad o la edad de la masa. Actualmente, esta plaga forestal se ve favorecida por los nuevos condicionantes climáticos y la acción humana mediante acciones como la plantación de especies sensibles como el pino laricio.

Por otro lado, los incendios forestales son la principal gran perturbación que afecta a los pinares de

pino laricio. Se prevé un incremento de la frecuencia, duración e intensidad de los episodios climáticos adversos, así como una evapotranspiración más elevada de la cubierta vegetal y un contenido de humedad más bajo, factores que inciden en el aumento de la intensidad del fuego (DOMÈNECH et al., 2018). El pino laricio es una especie adaptada a los regímenes de incendios frecuentes de baja intensidad y severidad, pero con pocas oportunidades de supervivencia tras grandes incendios forestales. Así, el pino laricio puede presentar cierta adaptación a los incendios de baja intensidad cuando es adulto gracias a su gruesa corteza, que lo protege del paso del fuego, y a sus altas copas, siendo incluso beneficiado por una reducción de la competencia del sotobosque por los recursos. No obstante, incendios de gran magnitud tienen un impacto muy negativo, ya que después de un gran incendio el pino laricio se

encuentra en desventaja frente a otros pinos, como por ejemplo *Pinus pinaster*, de mayor capacidad de regeneración y cuyos piñones resisten las llamas y germinan tras el paso del fuego, y frente a encinas y robles, que vuelven a brotar con facilidad. Aunque el pino laricio sobreviva al incendio, la gran incorporación de *Pinus pinaster* hace que, a largo plazo, las masas no tengan viabilidad. Sin el continuo aprovechamiento al que eran sometidos históricamente, los bosques de pino laricio presentan un aumento de la cubierta y la cantidad de biomasa acumulada, ya sea en el estrato arbóreo o, en el caso de formaciones más abiertas, en el arbustivo. De este modo, existe un mayor riesgo de propagación de incendios debido a la abundancia de estados sucesionales iniciales de gran acumulación de biomasa y continuidad vertical.

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN Y MEDIDAS RECOMENDADAS

Fomentar la regeneración natural

Se propone el fomento de la regeneración natural creando espacios y favoreciendo la iluminación de las copas de los árboles madre, abriendo progresivamente el dosel de copas y eliminando selectivamente el matorral para aumentar la insolación directa y la circulación del viento, consiguiendo así modificar las condiciones de temperatura y humedad del suelo y, a su vez, removerlo a través de las operaciones de desembosque.

Se puede considerar que el uso de los arbustos como plantas protectoras es una técnica que ofrece ventajas económicas y ecológicas, ya que mejora el estado del plantón en relación con el agua y reduce la mortalidad estival por sequía (LOEPFE et al., 2010).

Fomentar las masas mixtas y diversidad estructural

Aunque el pino laricio se desarrolla con tendencia a la monoestratificación y genera un dosel cerrado, las masas mixtas (con pino albar o carrasco) dominadas por pino laricio son abundantes a pesar de la limitada plasticidad ecológica de la especie. En este sentido, en las mezclas de *Pinus nigra* con *P. sylvestris* y *P. pinaster* de la zona de Páramos del norte de Palencia, León y Burgos en la que vegetan las tres especies, *P. nigra* tiene mejor desarrollo que las otras dos. La entrada de *Quercus pyrenaica* en masas de *Pinus nigra* es una realidad en algunas regiones y se puede estudiar su evolución para promover este tipo de mezcla para la restauración de tierras degradadas por las características complementarias de estas dos especies (ORDÓÑEZ et al., 2004).

Las masas monoestratificadas, con edades homogéneas, se presentan con mayor vulnerabilidad a la intensificación de eventos extremos (olas de calor, fuertes vientos y muy baja humedad relativa, lluvias torrenciales, etc.), sobre todo en masas relictas o en masas donde compite con *Pinus halepensis*, estando en desventaja ante mayores temperaturas. En su estado actual, consistente en masas más bien jóvenes o plantaciones densificadas,

con estructuras simplificadas con tendencia a la monoestratificación del arbolado y bosques poco maduros, con poca vitalidad y biodiversidad, escasa capacidad de regeneración y muy vulnerables a los incendios forestales, promover la mezcla de especies y crear varios estratos de arbolado supondría crear masas más resilientes al cambio climático.

Además, se necesitan actuaciones que generen estructuras de clases diamétricas más equilibradas. En este sentido, TÍSCAR et al. (2015) proponen realizar claras con selección de árboles de porvenir, consideradas más adecuadas que las tradicionales claras por lo bajo para la adaptación de las masas repobladas al cambio climático (ABELLANAS et al., 2013; SEVILLA, 2005), centrando la silvicultura sobre un determinado número de árboles preseleccionados por su gran calidad maderera y potencialidad de desarrollo, generando estructuras más heterogéneas y resistentes y, mejorando su baja estabilidad individual (árboles muy esbeltos), lo que necesita planificar actuaciones suaves y frecuentes para regular la competencia y potenciar el crecimiento de la masa.

Aumentar la diversidad genética

Promover la diversidad genética de las masas mediante el uso de genotipos mejor adaptados al cambio climático, utilizando semillas de huertos

semilleros para recoger la variabilidad genética de la zona y servir de material de base para futuras reforestaciones (TRANQUE PASCUAL et al., 2018).

Fomentar la diversidad estructural

Se debe tratar de generar bosques con distintos estadios de desarrollo de los árboles y con elementos de ecosistemas de madurez. A su vez,

se puede generar madera muerta que sea fuente de biodiversidad en lugares de riesgo de incendio reducido.

Regular la densidad de la masa para reducir el estrés hídrico y aumentar su resistencia frente a incendios

Se necesitan aplicar prescripciones de silvicultura adaptativa para pinares densificados de pino laricio. Estas prescripciones deben adecuar la espesura de las masas forestales muy densificadas y monoestratificadas, ya que el aclareo reduce la vulnerabilidad a la sequía (CANNAC et al., 2009).

Los modelos de SÁNCHEZ-SALGUERO et al. (2012) suponen una valiosa contribución a las

directrices sobre las técnicas de manejo forestal para las primeras etapas de gestión de una masa regular repoblada o natural y podrían incorporarse en los planes de gestión futuros para pasar de una estructura densa a otra que avance hacia distintos estados de madurez.

Controlar plagas y enfermedades para mejorar el estado de vitalidad de las masas

Control preventivo de enfermedades y plagas forestales que puedan actuar como detonantes de procesos de decaimiento forestal. Es necesaria una evaluación de las interacciones entre la procesionaria del pino con el clima y los pinos hospedadores para comprender los cambios espacio-temporales en las defoliaciones, además de establecer programas de seguimiento para evaluar y controlar los niveles poblacionales de la procesionaria del pino.

Se considera fundamental reconstruir y analizar la dinámica de la procesionaria del pino en el área de distribución del pino laricio, así como el desarrollo de herramientas automáticas (p.e., observación satelital y teledetección, sensores remotos e inteligencia artificial) de seguimiento y alerta temprana que permitan una gestión más eficiente de esta plaga y los recursos destinados a su control.

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

Se propone realizar el seguimiento en zonas relictas de pino laricio, p.e., Gredos, Guadarrama, Tejada y Almirajara (comarca 10), así como el reducto del río Cega (Lastras de Cuéllar, comarca 9) (ORIA DE RUEDA, 2003) manteniendo los ecotipos locales y fomentando el intercambio genético entre poblaciones de un mismo ecotipo. Las poblaciones de *Pinus nigra*

subsp. *salzmannii* de la sierra de Gredos suponen el límite occidental de la distribución mundial de la especie. Amenazadas por los incendios y de difícil regeneración, estas escasas poblaciones marginales tienen gran interés de conservación al vegetar en condiciones ecológicas muy diferentes al resto de procedencias ibéricas.

REFERENCIAS

- ABELLANAS, B., CUADROS, S., OLIET, J. 2013. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS SOBRE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DE LOS RODALES FORESTALES. ACTAS DEL 6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LAS CIENCIAS FORESTALES. [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/239400632_EFECTO_DE_LOS_TRATAMIENTOS_SELVICOLAS_SOBRE_LA_ESTRUCTURA_ESPACIAL_DE_LOS_RODALES_FORESTALES](https://www.researchgate.net/publication/239400632_EFECTO_DE_LOS_TRATAMIENTOS_SELVICOLAS_SOBRE_LA_ESTRUCTURA_ESPACIAL_DE_LOS_RODALES_FORESTALES)
- ADAMS, H. D., GUARDIOLA-CLARAMONTE, M., BARRON-GAFFORD, G. A., VILLEGAS, J. C., BRESHEARS, D. D., ZOU, C. B., ..., & HUXMAN, T. E. 2009. TEMPERATURE SENSITIVITY OF DROUGHT-INDUCED TREE MORTALITY PORTENDS INCREASED REGIONAL DIE-OFF UNDER GLOBAL-CHANGE-TYPE DROUGHT. PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 106(17), 7063-7066. [HTTPS://DOI.ORG/10.1073/PNAS.0901438106](https://doi.org/10.1073/pnas.0901438106)
- ALLEN, C. D., MACALADY, A. K., CHENCHOUNI, H., BACHELET, D., MCDOWELL, N., VENNETIER, M., KITZBERGER, T., RIGLING, A., BRESHEARS, D. D., HOGG, E. H., GONZALEZ, P., FENSHAM, R., ZHANG, Z., CASTRO, J., DEMIDOVA, N., LIM, J. H., ALLARD, G., RUNNING, S. W., SEMERCI, A., & COBB, N. 2010. A GLOBAL OVERVIEW OF DROUGHT AND HEAT-INDUCED TREE MORTALITY REVEALS EMERGING CLIMATE CHANGE RISKS FOR FORESTS. FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT, 259(4), 660-684. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2009.09.001](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001)
- ANDREU, L., GUTIERREZ, E., MACIAS, M., RIBAS, M., BOSCH, O., & CAMARERO, J. J. 2007. CLIMATE INCREASES REGIONAL TREE-GROWTH VARIABILITY IN IBERIAN PINE FORESTS. GLOBAL CHANGE BIOLOGY, 13(4), 804-815. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/J.1365-2486.2007.01322.X](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01322.x)
- BELTRÁN, M., PIQUÉ, M., CERVERA, T., PALERO, N., & CAMPRODON, J. 2018. MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE GESTIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES DE PINO LARICIO. COMPATIBILIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN FORESTAL Y LA CONSERVACIÓN DEL HÁBITAT. PROYECTO LIFE+ PINASSA. CENTRE DE LA PROPIETAT FORESTAL, 68 PP. [HTTP://LIFEPINASSA.EU/WP-CONTENT/UPLOADS/2018/06/MANUAL_GESTION_ESP-2.PDF](http://lifepinassa.eu/wp-content/uploads/2018/06/Manual_Gestion_ESP-2.pdf)
- BELTRÁN, M., VERICAT, P., PIQUÉ, M., & CERVERA, T. 2012. MODELS DE GESTIÓ PER ALS BOSCOS DE PINASSA (PINUS NIGRA ARN.): PRODUCCIÓ DE FUSTA I PREVENCIÓ D'INCENDIS FORESTALS. SÈRIE: ORIENTACIONS DE GESTIÓ FORESTAL SOSTENIBLE PER A CATALUNYA (ORGEST). CENTRE DE LA PROPIETAT FORESTAL. DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA, ALIMENTACIÓ I MEDI NATURAL. GENERALITAT DE CATALUNYA. 153 PP. [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/264536404_Models_de_gestio_per_als_boscoss_de_pinassa_pinus_nigra_arn_produccio_de_fusta_i_prevenccio_d%27incendis_forestals_serie_orientacions_de_gestio_forestal_sostenible_per_a_catalunya_organest](https://www.researchgate.net/publication/264536404_Models_de_gestio_per_als_boscoss_de_pinassa_pinus_nigra_arn_produccio_de_fusta_i_prevenccio_d%27incendis_forestals_serie_orientacions_de_gestio_forestal_sostenible_per_a_catalunya_organest)
- BOISVENUE, C., & RUNNING, S. W. 2006. IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON NATURAL FOREST PRODUCTIVITY—EVIDENCE SINCE THE MIDDLE OF THE 20TH CENTURY. GLOBAL CHANGE BIOLOGY, 12(5), 862-882. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/J.1365-2486.2006.01134.X](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01134.x)
- CAMARERO, J. J., SANGÜESA BARREDA, G., ALLA, A. Q., GONZÁLEZ DE ANDRÉS, E., MAESTRO MARTÍNEZ, M., & VICENTE-SERRANO, S. M. 2012. LOS PRECEDENTES Y LAS RESPUESTAS DE LOS ÁRBOLES A SEQUÍAS EXTREMAS REVELAN LOS PROCESOS INVOLUCRADOS EN EL DECAIMIENTO DE BOSQUES MEDITERRÁNEOS DE CONÍFERAS. ECOSISTEMAS, 21(3), 22-30. [HTTPS://DOI.ORG/10.7818/ECOS.2012.21-3.04](https://doi.org/10.7818/ecos.2012.21-3.04)
- CAMARERO, J. J., CORCUERA, L., PEÑUELAS, J., & GIL-PELEGRÍN, E. 2004. CAMBIO GLOBAL Y DECAIMIENTO DEL BOSQUE. EN: ECOLOGÍA DEL BOSQUE MEDITERRÁNEO EN UN MUNDO CAMBIANTE. (PP. 397-423.). MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. MADRID. [HTTPS://ISSUU.COM/FERHERLO/DOCS/ECOLOGIA_BOSQUE_MEDITERRANEO_1](https://issuu.com/ferherlo/docs/ecologia_bosque_mediterraneo_1)
- CANNAC, M., PASQUALINI, V., BARBONI, T., & AL. 2009. PHENOLIC COMPOUNDS OF PINUS LARICIO NEEDLES: A BIOINDICATOR OF THE EFFECTS OF PRESCRIBED BURNING IN FUNCTION OF SEASON. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 407(15): 4542-4548. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SCITOTENV.2009.04.035](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.04.035)
- CANDEL-PÉREZ, D., LUCAS-BORJA, M. E., & LINARES, J. C. 2012. PREDICCIONES DEL CRECIMIENTO EN POBLACIONES DE PINO LARICIO (PINUS NIGRA ARN. SSP. SALZMANNII) BAJO DIFERENTES ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO. ECOSISTEMAS, 21(3), 41-49. [HTTPS://DOI.ORG/10.7818/ECOS.2012.21-3.06](https://doi.org/10.7818/ecos.2012.21-3.06)

- CANDEL-PÉREZ, D. 2014. GESTIÓN FORESTAL DE PINUS NIGRA SSP. SALZMANNII BAJO EL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO: BASES ECOLÓGICAS Y GENÉTICAS. TESIS DOCTORAL. UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA. [HTTPS://RUIDERA.UCLM.ES/XMLUI/BITSTREAM/HANDLE/10578/5359/TESIS%20CANDEL%20PEREZ.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y](https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/5359/TESIS%20CANDEL%20PEREZ.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y)
- CANDEL-PÉREZ, D., LUCAS-BORJA, M. E., GARCÍA-CERVIGÓN, A. I., TÍSCAR, P. A., ANDIVIA, E., BOSE, A. K., SÁNCHEZ-SALGUERO, R., CAMARERO, J. J., & LINARES, J. C. 2022. FOREST STRUCTURE DRIVES THE EXPECTED GROWTH OF PINUS NIGRA ALONG ITS LATITUDINAL GRADIENT UNDER WARMING CLIMATE. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 505: 119818. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2021.119818](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119818)
- DE LUIS, M., GRIČAR, J., ČUFAR, K., & RAVENTÓS, J. 2007. SEASONAL DYNAMICS OF WOOD FORMATION IN PINUS HALEPENSIS FROM DRY AND SEMI-ARID ECOSYSTEMS IN SPAIN. *IAWA JOURNAL*, 28(4), 389-404. [HTTPS://DOI.ORG/10.1163/22941932-90001651](https://doi.org/10.1163/22941932-90001651)
- DOBBERTIN, M. 2005. TREE GROWTH AS INDICATOR OF TREE VITALITY AND OF TREE REACTION TO ENVIRONMENTAL STRESS: A REVIEW. *EUROPEAN JOURNAL OF FOREST RESEARCH*, 124(4), 319-333. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10342-005-0085-3](https://doi.org/10.1007/s10342-005-0085-3)
- DOMÈNECH, R., PIQUÉ, M., LARRAÑAGA, A., BELTRÁN, M., & CASTELLNOU, M. 2018. EL PAPEL DEL FUEGO EN LA CONSERVACIÓN DEL HÁBITAT DE LOS BOSQUES DE PINO LARICIO (PINUS NIGRA ARN.). PROYECTO LIFE+ PINASSA. CENTRE DE CIÈNCIA I TECNOLOGIA FORESTAL DE CATALUNYA (CTFC). 64 PP. [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PROFILE/MARIO-BELTRAN-BARBA/PUBLICATION/343098128_EL_PAPEL_DEL_FUEGO_EN_LA_CONSERVACION_DEL_HABITAT_DE_LOS_BOSQUES_DE_PINO_LARICIO_PINUS_NIGRA_ARN/LINKS/5FD726A592851C13FE84E20A/EL-PAPEL-DEL-FUEGO-EN-LA-CONSERVACION-DEL-HABITA](https://www.researchgate.net/profile/Mario-Beltran-Barba/publication/343098128_EL_PAPEL_DEL_FUEGO_EN_LA_CONSERVACION_DEL_HABITAT_DE_LOS_BOSQUES_DE_PINO_LARICIO_PINUS_NIGRA_ARN/LINKS/5FD726A592851C13FE84E20A/EL-PAPEL-DEL-FUEGO-EN-LA-CONSERVACION-DEL-HABITA)
- DUCHESNE, L., OUMET, R., & MORNEAU, C. 2003. ASSESSMENT OF SUGAR MAPLE HEALTH BASED ON BASAL AREA GROWTH PATTERN. *CANADIAN JOURNAL OF FOREST RESEARCH*, 33(11), 2074-2080. [HTTPS://DOI.ORG/10.1139/X03-141](https://doi.org/10.1139/x03-141)
- GÓMEZ, C., CAIZA MORALES, L., SANGÜESA-BARREDA, G., OLANO J. M., & DOMINGO, D. 2022. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE DETECCIÓN TEMPRANA DE DEFOLIACIÓN POR PROCESIONARIA DEL PINO MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y APRENDIZAJE COMPUTACIONAL. ACTAS DEL 8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LAS CIENCIAS FORESTALES. [HTTPS://8CFE.CONGRESOFORESTAL.ES/SITES/DEFAULT/FILES/ACTAS/8CFE-1019.PDF](https://8CFE.CONGRESOFORESTAL.ES/SITES/DEFAULT/FILES/ACTAS/8CFE-1019.PDF)
- HERRERO, A., RIGLING, A., & ZAMORA, R. 2013. VARYING CLIMATE SENSITIVITY AT THE DRY DISTRIBUTION EDGE OF PINUS SYLVESTRIS AND PINUS NIGRA. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 308, 50-61. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2013.07.034](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.034)
- IPCC. 2007. CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. CAMBRIDGE, UK. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, PP 996. [HTTPS://WWW.IPCC.CH/REPORT/AR4/WG1/](https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/)
- LINARES, J. C., & TÍSCAR, P. A. 2010. CLIMATE CHANGE IMPACTS AND VULNERABILITY OF THE SOUTHERN POPULATIONS OF PINUS NIGRA SUBSP. SALZMANNII. *TREE PHYSIOLOGY*, 30(7), 795-806. [HTTPS://DOI.ORG/10.1093/TREEPHYS/TPQ052](https://doi.org/10.1093/treephys/tpq052)
- LINARES, J. C., PAZO SARRIA, R., TAÍQUI, L., CAMARERO, J. J., OCHOA, V., LECHUGA, V., SECO, J. I., VIÑEGLA, B., SANGÜESA, G., GILARTE, P., & MERINO, J. 2012. EFECTOS DE LAS TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y LA DEGRADACIÓN DEL HÁBITAT SOBRE EL DECAIMIENTO DE LOS CEDRALES (CEDRUS ATLANTICA) DEL NORTE DE MARRUECOS. *ECOSISTEMAS*, 21(3), 7-14. [HTTPS://DOI.ORG/10.7818/ECOS.2012.21-3.02](https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.02)
- LOEPFE, L., MARTÍNEZ-VILALTA, J., OLIVERES, J., & AL. 2010. FEEDBACKS BETWEEN FUEL REDUCTION AND LANDSCAPE HOMOGENISATION DETERMINE FIRE REGIMES IN THREE MEDITERRANEAN AREAS. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 259(12): 2366-2374. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2010.03.009](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.009)
- LUCAS-BORJA, M. E., JING, X., CANDEL-PÉREZ, D., PARHIZKAR, M., ROCHA, F., HEYDARI, M., MUÑOZ-ROJAS, M., & ZEMA, D. A. 2022. AFFORESTATION WITH PINUS NIGRA ARN SSP. SALZMANNII ALONG AN ELEVATION GRADIENT: CONTROLLING FACTORS AND IMPLICATIONS FOR CLIMATE CHANGE ADAPTATION. *TREES*, 36: 93-102. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S00468-021-02184-X](https://doi.org/10.1007/s00468-021-02184-x)
- MARTÍN-BENITO, D., DEL RÍO, M., HEINRICH, I., HELLE, G., & CAÑELLAS, I. 2010. RESPONSE OF CLIMATE-GROWTH RELATIONSHIPS AND WATER USE EFFICIENCY TO THINNING IN A PINUS NIGRA AFFORESTATION. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 259(5), 967-975. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2009.12.001](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.001)
- MARTÍNEZ-VILALTA, J., LÓPEZ, B. C., ADELL, N., BADIELLA, L., & NINYEROLA, M. 2008. TWENTIETH CENTURY INCREASE OF SCOTS PINE RADIAL GROWTH IN NE SPAIN SHOWS STRONG CLIMATE INTERACTIONS. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY*, 14(12), 2868-2881. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/J.1365-2486.2008.01685.X](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01685.x)

- MATÍAS, L. 2012. CAMBIOS EN LOS LÍMITES DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS COMO CONSECUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS. *ECOSISTEMAS*, 21(3), 91-96. [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/229084574_SEVERE_DROUGHT_EFFECTS_ON_MEDITERRANEAN_WOODY_FLORA_IN_SPAIN](https://www.researchgate.net/publication/229084574_SEVERE_DROUGHT_EFFECTS_ON_MEDITERRANEAN_WOODY_FLORA_IN_SPAIN)
- MCDOWELL, N., POCKMAN, W. T., ALLEN, C. D., BRESHEARS, D. D., COBB, N., KOLB, T., ..., & YEPEZ, E. A. 2008. MECHANISMS OF PLANT SURVIVAL AND MORTALITY DURING DROUGHT: WHY DO SOME PLANTS SURVIVE WHILE OTHERS SUCCUMB TO DROUGHT? *NEW PHYTOLOGIST*, 178(4), 719-739. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/J.1469-8137.2008.02436.X](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x)
- MONTSERRAT, P. 1988. FLORA. ENCICLOPEDIA TEMÁTICA DE ARAGÓN, TOMO 6. Ed. MONCAYO. ZARAGOZA. [HTTPS://PEDROMONTSERRAT.FILES.WORDPRESS.COM/2012/12/FLORA_ENCICLOPEDIA_TEMATICA_ARAGON.PDF](https://pedromontserrat.files.wordpress.com/2012/12/flora_enciclopedia_tematica_aragon.pdf)
- ORDÓÑEZ, J. L., RETANA, J., & ESPELTA, J. M. 2004. EFFECTS OF TREE SIZE, CROWN DAMAGE, AND TREE LOCATION ON POST-FIRE SURVIVAL AND CONE PRODUCTION OF PINUS NIGRA TREES. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT* 206(1-3): 109-117. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2004.10.067](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.067)
- ORIA DE RUEDA, J. A., DÍEZ ORONÓZ, J. 2003. BOSQUES DE CASTILLA Y LEÓN.
- PEÑUELAS, J., LLORET, F., & MONTOYA, R. 2001. SEVERE DROUGHT EFFECTS ON MEDITERRANEAN WOODY FLORA IN SPAIN. *FOREST SCIENCE*, 47(2), 214-218. [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/229084574_SEVERE_DROUGHT_EFFECTS_ON_MEDITERRANEAN_WOODY_FLORA_IN_SPAIN](https://www.researchgate.net/publication/229084574_SEVERE_DROUGHT_EFFECTS_ON_MEDITERRANEAN_WOODY_FLORA_IN_SPAIN)
- 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)
- SÁNCHEZ-SALGUERO, R., CAMARERO, J. J., DOBBERTIN, M., FERNÁNDEZ-CANCIO, Á., VILÀ-CABRERA, A., MANZANEDO, R. D., ..., & NAVARRO-CERRILLO, R. M. 2013. CONTRASTING VULNERABILITY AND RESILIENCE TO DROUGHT-INDUCED DECLINE OF DENSELY PLANTED VS. NATURAL REAR-EDGE PINUS NIGRA FORESTS. *FOREST ECOLOGY AND MANAGEMENT*, 310, 956-967. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2013.09.050](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.050)
- SÁNCHEZ-SALGUERO, R., NAVARRO-CERRILLO, R. M., CAMARERO, J. J., FERNÁNDEZ-CANCIO, A., SWETNAM, T. W., & ZAVALA, M. A. 2012. VULNERABILIDAD FRENTE A LA SEQUÍA DE REPOBLACIONES DE DOS ESPECIES DE PINOS EN SU LÍMITE MERIDIONAL EN EUROPA. *ECOSISTEMAS*, 21(3), 31-40. [HTTPS://DOI.ORG/10.7818/ECOS.2012.21-3.05](https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.05)
- SEVILLA, F. 2005. CLARAS ALTAS SELECTIVAS, CONCEPTOS Y EXPERIENCIAS. ACTAS DEL 4º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL. SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LAS CIENCIAS FORESTALES. [HTTP://SECFORRESTALES.ORG/PUBLICACIONES/INDEX.PHP/CONGRESOS_FORESTALES/ARTICLE/VIEW/16247/16090](http://secforestales.org/publicaciones/index.php/congresos_forestales/article/view/16247/16090)
- TÍSCAR, P. A., & LINARES, J. C. 2014. LARGE-SCALE REGENERATION PATTERNS OF PINUS NIGRA SUBSP. SALZMANNII: POOR EVIDENCE OF INCREASING FACILITATION ACROSS A DROUGHT GRADIENT. *FORESTS*, 5(1), 1-20. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/F5010001](https://doi.org/10.3390/f5010001)
- TÍSCAR, P. A., & LUCAS-BORJA, M. E. 2010. SEED MASS VARIATION, GERMINATION TIME AND SEEDLING PERFORMANCE IN A POPULATION OF PINUS NIGRA SUBSP. SALZAMANNII. *FOREST SYSTEMS*, 19(3), 344-353. [HTTPS://DIALNET.UNIRIOJA.ES/DESCARGA/ARTICULO/3366323.PDF](https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3366323.pdf)
- WULLSCHLEGER, S. D., TSCHAPLINSKI, T. J., & NORBY, R. J. 2002. PLANT WATER RELATIONS AT ELEVATED CO₂—IMPLICATIONS FOR WATER-LIMITED ENVIRONMENTS. *PLANT, CELL & ENVIRONMENT*, 25(2), 319-331. [HTTPS://DOI.ORG/10.1046/J.1365-3040.2002.00796.X](https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00796.x)