

**MANUAL DE GESTIÓN PARA MASAS
PROCEDENTES DE REPOBLACIÓN DE
Pinus pinaster Ait., *Pinus sylvestris* L.
Y *Pinus nigra* Arn. EN CASTILLA Y LEÓN**

**Miren del Río Gaztelurrutia
Eduardo López Senespleda
Gregorio Montero González**



**MANUAL DE GESTIÓN PARA MASAS
PROCEDENTES DE REPOBLACIÓN DE
Pinus pinaster Ait., *Pinus sylvestris* L.
Y *Pinus nigra* Arn. EN CASTILLA Y LEÓN**

**MANUAL DE GESTIÓN PARA MASAS
PROCEDENTES DE REPOBLACIÓN DE
Pinus pinaster Ait., *Pinus sylvestris* L.
Y *Pinus nigra* Arn. EN CASTILLA Y LEÓN**

**Miren del Río Gaztelurrutia
Eduardo López Senespleda
Gregorio Montero González**

INIA. Instituto Nacional de Investigación
y Tecnología Agraria y Alimentaria

Asesores técnicos

**Jose L. Bengoa Martínez de Mandojana
Alfonso González Romero**

Consejería de Medio Ambiente.
Junta de Castilla y León



© 2006, de esta edición
JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

© Textos: Miren del Río Gaztelurrutia,
Eduardo López Senespleda, Gregorio Montero González

Impreso en España - Printed in Spain

I.S.B.N.: 84-9718-030-5

Depósito Legal: AS-3179-2006



Los autores de este trabajo agradecen la ayuda de todas las personas que han hecho posible la toma de datos en campo, técnicos y agentes forestales y mediantes de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León. Gracias también a Antonio y Gerardo Urchaga por su trabajo de campo. Del mismo modo, gracias a los compañeros del CIFOR-INIA que de algún modo han contribuido en la elaboración de este manual, en especial a Isabel Cañellas, David Sánchez y Ricardo Ruiz-Peinado.

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	11
INTRODUCCIÓN	13
1. MÉTODOS	19
1.1 Calidad de estación	19
1.2 Guía de densidad observada	20
1.3 Densidad propuesta	22
1.4 Propuesta selvícola y Tablas de producción	23
2. PINUS PINASTER	25
2.1 Distribución	25
2.2 Calidad de estación	26
2.3 Guías de densidad observada	29
2.4 Densidad propuesta	31
2.5 Propuesta selvícola y Tablas de producción	34
3. PINUS SYLVESTRIS	43
3.1 Distribución	43
3.2 Calidad de estación	44
3.3 Guías de densidad observada	47
3.4 Densidad propuesta	49
3.5 Propuesta selvícola y Tablas de producción	53
4. PINUS NIGRA	61
4.1 Distribución	61
4.2 Calidad de estación	62
4.3 Guías de densidad observada	65
4.4 Densidad propuesta	67
4.5 Propuesta selvícola y Tablas de producción	70
ANEXOS	77
BIBLIOGRAFÍA	101

PRESENTACIÓN

La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León firma un Convenio de colaboración con el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria en el año 2003 entre cuyos objetivos se encuentra el estudio de las masas forestales procedentes de repoblación de algunas de las especies más interesantes que existen en nuestra Comunidad Autónoma: el pino negral, el pino silvestre y el pino laricio.

Las repoblaciones de estas tres especies juegan un papel muy importante en los montes de Castilla y León, no solamente por la gran superficie que ocupan sino también por todos los servicios y externalidades que generan. Este Manual Técnico pretende ser una herramienta de uso diario para el técnico, tanto público como privado, que le ayude a desarrollar una gestión selvícola encaminada a mejorar la estructura vegetal de estos bosques.

Para la elaboración de este manual se ha contado con un equipo de expertos forestales de prestigio reconocido que, desde un punto de vista eminentemente científico, nos indican que labores pueden llevarse a cabo en estos bosques, para conseguir unas formaciones más diversas, paisajísticamente más atractivas y, a la vez, más productivas.

Carlos Fernández Carriedo
Consejero de Medio Ambiente

INTRODUCCIÓN

Castilla y León es una de las regiones españolas de mayor vocación forestal, con cerca de la mitad de su superficie de uso forestal. Las repoblaciones de coníferas, fundamentalmente del género *Pinus*, juegan un papel importante en los montes de Castilla y León no solo por la superficie que ocupan, sino por las funciones y servicios que prestan a la sociedad. Por otra parte, la mayoría de estas repoblaciones está gestionada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León.

Se estima que la superficie de repoblaciones del género *Pinus* en la Comunidad autónoma supera las 410.000 ha (Fuente: Junta de Castilla y León a partir del Mapa Forestal de España 1:50.000 (MFE50)). Las especies más frecuentes son el pino silvestre (194.000 ha), pino negral (82.000 ha) y pino laricio (80.000 ha), seguidas de pino piñonero (26.000) y pino carrasco (16.000). En la siguiente tabla se presenta la superficie de repoblaciones de las tres primeras especies mencionadas y su distribución según provincias, distinguiendo las superficies donde el pino es especie principal o especie secundaria.

		AV	BU	LE	PA	SA	SG	SO	VA	ZA	CyL
<i>P. pinaster</i>	p ¹⁾	9.858	3.529	8.493	2.212	12.795	4.163	22.661	2.090	15.835	81.638
	s.	1.253	1.287	9.863	3.495	2.329	1.992	2.931	900	7.421	31.468
<i>P. sylvestris</i>	p.	7.871	34.327	62.739	20.560	4.468	11.123	25.507	2.816	24.336	193.746
	s.	1.037	5.291	13.029	5.824	915	1.497	4.125	1.340	9.248	42.307
<i>P. nigra</i>	p.	427	14.542	20.657	14.471	49	4.386	16.743	6.953	1.605	79.831
	s.	798	3.465	18.543	8.553	267	1.596	3.358	1.751	5.203	43.535
Totales		p.	18.156	52.398	91.889	37.243	17.312	19.672	64.911	11.859	355.215

Fuente: Junta de Castilla y León a partir del MFE50

¹⁾ p. Superficie donde el pino es la especie principal o dominante

s. Superficie donde el pino es especie secundaria o acompañante (superficies solapadas entre especies)

Generalmente se trata de repoblaciones realizadas en la segunda mitad del siglo XX que se encuentran actualmente en la fase de exclusión de fustes, caracterizada por una fuerte competencia, y en algún caso en la fase de recuperación del sotobosque. Algunas de estas repoblaciones suponen solo una etapa en el proceso de restauración de otros tipos de bosque de mayor interés, mientras que otras podrán perpetuarse en nuevos ciclos de bosque de la misma especie. No obstante, en ambos casos las intervenciones de claras son necesarias para acelerar su integración y mantener el vigor y estabilidad de estos nuevos bosques y, a su vez, generar rentas y servicios a sus propietarios. Los servicios y externalidades que generan los montes, en ocasiones tienen mayor trascendencia social y económica que las producciones directas.

Los objetivos iniciales de estas repoblaciones (recuperación de la cubierta vegetal, protección del suelo, producción de madera, etc.) se están cumpliendo en su mayor parte, además de otras demandas más recientes que se han creado sobre estos montes, como acogida de fauna, producción de hongos, zona de esparcimiento, etc. A pesar de ello, estos servicios se podrían incrementar y mejorar con una silvicultura adecuada. Las cortas de mejora y de regeneración, junto con los tratamientos de prevención de incendios y tratamientos fitosanitarios son fundamentales para garantizar la persistencia de estas masas forestales.

Las masas arbóreas procedentes de repoblación presentan una serie de problemas propios, básicamente debidos a la monoespecificidad y a la coetaneidad de estos sistemas (Madrigal, 1998). La monoespecificidad otorga mayor sensibilidad a perturbaciones del tipo incendios, plagas y enfermedades, así como derribos por viento y nieve. La coetaneidad implica, en ausencia de planificación, una mayor dificultad a la hora de asegurar la permanencia en el tiempo de la masa. A estos dos problemas hay que sumar el originado por las elevadas densidades iniciales de plantación que, junto a la ausencia de cuidados culturales, han conducido a un estancamiento de muchas de estas masas. El riesgo de estancamiento se acentúa por la coetaneidad y monoespecificidad de las repoblaciones, ya que los árboles entran en competencia más bruscamente debido a la homogeneidad entre individuos. A su vez, una densidad excesiva aumenta la susceptibilidad de las repoblaciones a las perturbaciones anteriormente mencionadas. Por lo tanto, es necesario definir una silvicultura que corrija estas características propias de las masas procedentes de repoblación.

Las intervenciones selvícolas en estas repoblaciones deben buscar cumplir todas las funciones de estas masas forestales, asegurando siempre la persistencia del sistema forestal, el buen estado sanitario, su vigor y capacidad regenerativa. Las claras son los tratamientos selvícolas más apropiados para cumplir con estos requisitos al regular la densidad de las masas, eliminar los individuos enfermos o muertos, aumentar el valor de los productos finales, generar unas rentas intermedias y contribuir a la regeneración futura de la masa.



FOTOS 1 y 2: Repoblación en el término municipal de Cámenes (León). Arriba: foto realizada en 1973; Abajo: foto realizada en 2003. Fuente: Fototeca Forestal (INIA-DGB); fotos cedidas por Javier Ezquerro.

Si bien hoy en día se dispone de cierta experiencia en realización de tratamientos de claras en pinares procedentes de repoblación, todavía no existen suficientes estudios experimentales que permitan definir de forma objetiva un programa de claras óptimo para cada especie y calidad de estación. El CIFOR-INIA dispone de una red de parcelas permanentes que incluye una serie de ensayos de claras en pinares de *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* procedentes de repoblación, la mayor parte de éstos instalados a partir de 1980. Los resultados de estos ensayos de claras se han analizado en algún caso individualmente (Montero *et al.*, 2001), pero no existe un estudio conjunto que sintetice los distintos sitios de ensayo y que permita establecer un programa de claras por especie. En este manual se pretende cubrir parte de esta carencia y establecer una propuesta selvícola para repoblaciones de las tres especies más frecuentes en repoblaciones de Castilla y León, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, que facilite la programación de claras en estas masas.

En los pinares procedentes de repoblación de estas tres especies en Castilla y León existe una gran variabilidad tanto en los objetivos iniciales, como en las estaciones y características de las repoblaciones (densidad inicial, preparación del terreno, mantenimiento, etc.). En este manual no se estudia cada caso particular, sino que el objetivo es aportar herramientas de gestión que permitan proponer una selvicultura adecuada para cada especie y calidad de estación. La ausencia de herramientas propias para repoblaciones ha sido considerada como un factor limitante en la gestión de las mismas. En este manual, para cada especie, se han construido curvas de calidad de estación y unas tablas de producción que reflejan una propuesta selvícola para cada calidad de estación.



FOTO 3:
Repoblación de pino silvestre en
fase de exclusión de fustes (norte
de Burgos).

Los modelos de calidad de estación son una herramienta básica para la gestión ya que permiten una clasificación de las estaciones forestales como punto de partida para iniciar el estudio de la silvicultura a aplicar en diferentes calidades productivas. Actualmente existen pocos estudios de calidad de estación en pinares procedentes de repoblación fuera del marco atlántico de la Península Ibérica (Dieguez, 2004; Río *et al.*, 2005). Sin embargo, estos trabajos parecen indicar un patrón de crecimiento en altura dominante diferente entre masas naturales y artificiales, por lo que es necesario desarrollar modelos de calidad de estación para repoblaciones de las tres especies estudiadas.

Las normas selvícolas o de densidad que relacionan la evolución del número de pies por unidad de superficie con una variable del tamaño del árbol medio resultan de gran utilidad para la gestión, ya que ayudan a determinar la necesidad de realizar cortas intermedias de una manera sencilla. En este trabajo se ha estudiado la densidad más adecuada para las repoblaciones de cada especie a través de la relación entre el número de pies por hectárea y el diámetro medio cuadrático (Índice de densidad de Reineke). Basándose en esta densidad propuesta y en datos procedentes de repoblaciones con una silvicultura observada adecuada se han construido tablas de producción para cada especie. Las tablas de producción son un importante instrumento de gestión y planificación, que ofrecen una referencia sobre la producción de las masas y las intervenciones que se deben realizar a lo largo del turno por calidad de estación.

El presente manual se ha estructurado en un capítulo de métodos común para las tres especies en el que se describe brevemente la metodología empleada en el desarrollo de las curvas de calidad de estación y de las tablas de producción, seguido de los correspondientes capítulos por especie en los que se muestran las herramientas de gestión desarrolladas junto con una propuesta selvícola para cada calidad de estación. En los anexos se recogen los datos utilizados en el desarrollo de este trabajo, así como detalles metodológicos.

MÉTODOS

1.1 Calidad de estación

Con el fin de realizar propuestas selvícolas que se adapten a las distintas estaciones es necesario disponer de modelos de calidad de estación que permitan clasificar las masas forestales. La calidad de estación refleja la potencialidad productiva de una especie en una estación determinada. Existen distintos métodos para estimar la calidad de estación, pero el más empleado habitualmente es el método de las curvas de calidad. Este método se basa en la relación entre la altura dominante y la edad de la masa, ya que el crecimiento en altura dominante depende de la calidad de estación y se ve poco modificado por la selvicultura aplicada. Generalmente se expresa en curvas que representan la evolución de la altura dominante con la edad para las distintas calidades de estación. El distinto patrón de crecimiento en altura dominante de las masas naturales y artificiales hace necesaria la elaboración de curvas de calidad propias para repoblaciones.

Dentro de las distintas metodologías de construcción de curvas de calidad de estación en este trabajo se ha utilizado el método de ecuaciones en diferencias, en el cual se estima la altura H_2 a la edad T_2 a partir de la altura H_1 y de las edades T_1 y T_2 .

$$H_2 = f(T_2, H_1, T_1)$$

Para el ajuste de este tipo de ecuaciones se necesita disponer de pares de valores (H_1, T_1) y (H_2, T_2) , que en este caso se obtuvieron de las lecturas de análisis de tronco realizados en árboles dominantes de repoblaciones situadas en distintas esta-



FOTO 4:
Análisis de tronco realizado en
una parcela de pino silvestre.

ciones (anexos 1 y 2). Se han ajustado distintas funciones de crecimiento y se ha seleccionado el mejor modelo para cada especie atendiendo a criterios estadísticos y criterios biológicos (anexo 2).

Una vez ajustado el modelo para cada especie, para estimar el índice de sitio de una masa basta conocer un par de datos altura dominante-edad, que se sustituyen en Ho_1-T_1 , y la edad de referencia T_2 , obteniéndose de este modo el índice de sitio ($IS=Ho_2$). Si el índice de sitio es conocido y se quiere estimar la altura dominante a una edad futura, se sustituye (Ho_1, T_1) por el índice de sitio y la edad de referencia y T_2 por la edad a la que se quiere estimar la altura dominante.

1.2 Guía de densidad observada

Para cada una de las especies estudiadas en este manual se han inventariado una serie de parcelas temporales en repoblaciones ya intervenidas. El objetivo de estas parcelas es definir una densidad adecuada para cada especie, por lo que se instalaron en zonas en las que ya se habían realizado una o más claras y en las que se consideró que la espesura de la masa era adecuada para la fase de desarrollo de la misma, es decir, que las copas no estuviesen comprimidas y que no se observase una fuerte competencia entre individuos. En el Anexo 1 se incluye una descripción de las parcelas muestreadas, así como de las mediciones realizadas en ellas.

En una primera fase se ha realizado una caracterización por calidades de estación de estas repoblaciones muestreadas, que reflejan una silvicultura observada que se ha considerado *a priori* adecuada. Posteriormente, se utilizan estos datos para discutir la densidad más adecuada para cada especie y realizar una propuesta selvícola.

La primera fase de caracterización de las masas muestreadas se ha realizado mediante unas guías de densidad observada. Estas guías se han basado en las relaciones fundamentales que usualmente se utilizan en la construcción de tablas de producción (Madrigal *et al.*, 1999):

- **Primera relación fundamental:** $Ho=f(T, IS)$ –curvas de calidad de estación que permiten estimar la altura dominante (Ho) en función de la edad (T) y del índice de sitio (IS).



FOTO 5:
Instalación de una parcela en una
replantación de *Pinus sylvestris*.

- **Segunda relación fundamental:** $N=f(Ho)$ – refleja la evolución del número de pies por hectárea (N) en función de la altura dominante (Ho). Entre los posibles modelos se ajustó el siguiente modelo lineal:

$$\ln(N) = a + b \cdot \ln(Ho)$$

- **Tercera relación fundamental:** $Dg=f(N, Ho)$ – esta relación estima el diámetro medio cuadrático (Dg) en función del número de pies (N) y la altura dominante (Ho). Los modelos probados fueron los siguientes:

$$Dg = a + b \cdot \frac{100}{\sqrt{N}} + c \cdot Ho$$

$$Dg = a + b \cdot \frac{100}{N} + c \cdot Ho$$

$$\ln(Dg) = a + b \cdot \ln(N) + c \cdot \ln(Ho)$$

- **Cuarta relación fundamental:** $V=f(G, Ho)$ – el volumen por hectárea de la masa (V) se estima en función del área basimétrica (G) y la altura dominante (Ho). Se ajustó uno de los dos modelos siguientes:

$$V = a + b \cdot G \cdot Ho$$

$$\ln(V) = a + b \cdot \ln(G) + c \cdot \ln(Ho)$$

- **Quinta relación fundamental:** $Hm=f(Ho)$ – relaciona la altura media de la masa (Hm) con la altura dominante (Ho). Se ajustó el siguiente modelo lineal:

$$Hm = a + b \cdot Ho$$

Una vez ajustados estos modelos a los datos muestreados para cada especie se construyeron las guías de densidad observada, que reflejan una evolución promedio de las principales variables de masa con la edad para cada calidad de estación.

1.3 Densidad propuesta

Con el objetivo de definir propuestas selvícolas para cada especie se ha estudiado cual sería la densidad más adecuada para cada una de ellas. Este análisis se ha llevado a cabo mediante el uso de normas de densidad o normas selvícolas, que se basan en índices de densidad que relacionan el número de pies por hectárea con una variable que refleje el tamaño del árbol medio, proponiendo una evolución de la espesura. Si esta variable es el diámetro medio cuadrático el índice más frecuente es el de Reineke y si es la altura dominante, el índice de Hart. En este manual se ha utilizado el índice de densidad de Reineke, cuya expresión es:

$$SDI = N \cdot \left(\frac{25}{Dg} \right)^{-\beta}$$

donde N es el número de pies por hectárea, Dg el diámetro medio cuadrático en cm y β es un parámetro a ajustar por especie. En el caso de no disponer de información para ajustar este parámetro β se utiliza el valor propuesto por Reineke (1,605).

Una manera de expresar la espesura de un rodal y poder comparar distintas densidades es calcular el valor relativo del índice de densidad de Reineke del rodal (SDI) con respecto al índice de máxima densidad observado para la especie (SDI_{max}). Basándose en este valor relativo, Long (1985) propuso dos valores de referencia del índice de densidad de Reineke (SDI): el 60% de la máxima densidad encontrada para la especie, por encima de la cual comienza el autoaclareo o mortalidad natural por competencia; y el 35% como el límite inferior para un buen aprovechamiento de los recursos de la estación (figura 1). Según este autor, un régimen de claras adecuado debe encontrarse entre esos dos valores, cuando la densidad se acerca al 60% se realizará una clara que reduzca la densidad como máximo hasta un 35%.

Para definir una densidad adecuada para cada especie se ha seguido un método similar al propuesto por Long. En primer lugar se ha estimado el índice de densidad máximo para cada especie para utilizarlo como densidad de referencia (anexo 3). Posteriormente, se ha calculado el valor relativo para cada una de las parcelas temporales muestreadas y se ha fijado el intervalo de densidades en el que se encuentran la mayor parte de ellas. Este intervalo se ha comparado con el propuesto por Long (1985) y con los valores observados en los ensayos de claras del CIFOR-INIA situados en repoblaciones de *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* (anexo 4) con el fin de establecer un rango de densidades adecuado para cada especie.

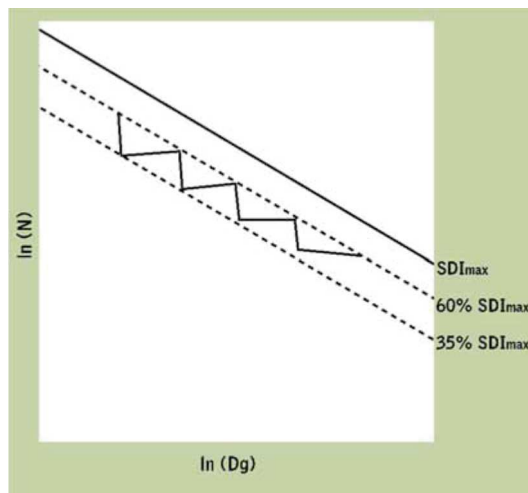


FIGURA 1:
Intervalo de la máxima densidad (SDI_{max})
propuesto por Long (1985).

1.4 Propuesta selvícola y Tablas de producción

Finalmente, para cada especie se incluye una propuesta selvícola y unas tablas de producción para repoblaciones. Estas propuestas asumen que se mantiene la estructura regular de las masas. En primer lugar se describen las intervenciones propuestas (clareos, tipo y peso de las claras, rotación de claras), así como el turno de referencia propuesto para cada calidad de estación. Estas indicaciones se basan en conocimientos generales sobre cada especie y en las respuestas a las claras de estas especies observadas en los ensayos de claras en repoblaciones del CIFOR-INIA.

A partir de estas intervenciones propuestas, se incluye para cada calidad de estación un esquema selvícola que describe la propuesta selvícola concreta para esa calidad de estación y una tabla de producción que la cuantifica.

Las tablas de producción se han construido a partir de la densidad propuesta y las relaciones fundamentales ajustadas en las guías de densidad observadas. La evolución del número de pies con la edad y las claras reflejadas en estas tablas se han determinado teniendo en cuenta la densidad propuesta y el objetivo de la masa en cada calidad de estación. Las claras se han cuantificado tomando como referencia

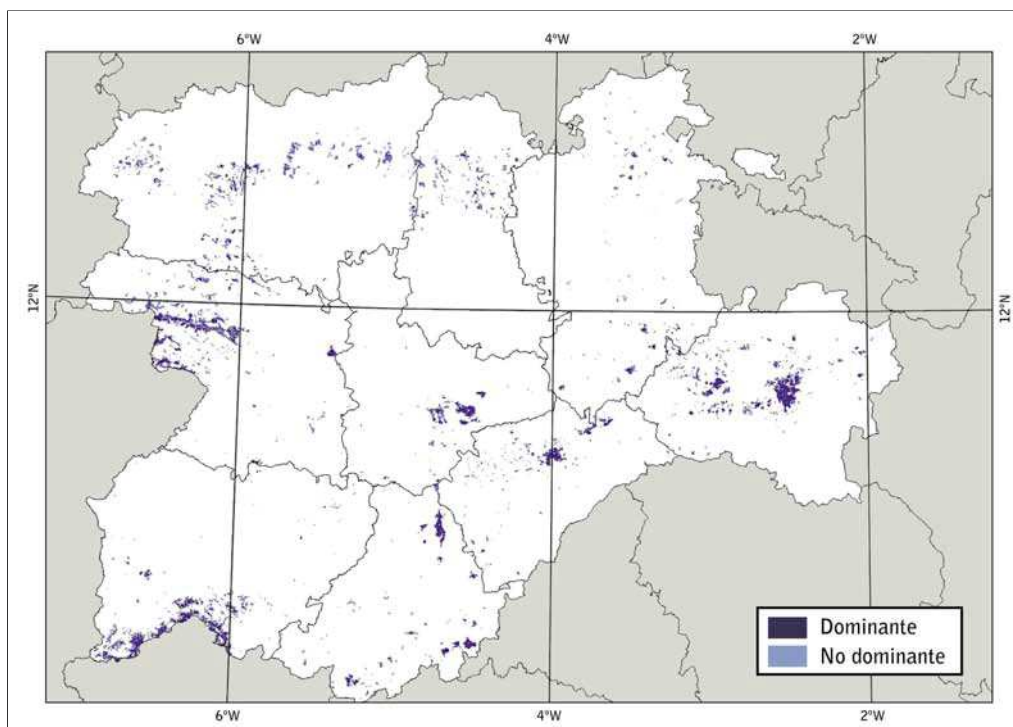
las intervenciones propuestas descritas anteriormente (tipo, rotación y peso de las claras) y utilizando los valores del índice del tipo de clara (cociente del diámetro medio cuadrático extraído y el diámetro medio cuadrático antes de la clara) observados en las parcelas de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de la misma especie con similar peso y número de claras (anexo 4). El resto de variables de las tablas de producción se han calculado utilizando las relaciones fundamentales 1ª, 3ª, 4ª y 5ª ajustadas para definir la guía de densidad observada. Los datos utilizados en el ajuste de estas relaciones comprenden edades hasta los 50-60 años, por lo que las extrapolaciones fuera de este rango no siempre son válidas. Por este motivo, en algunas tablas de producción ha sido necesario corregir los valores de algunas variables para edades superiores a 50-60 años. Estas correcciones se han realizado tomando como referencia otras tablas de producción disponibles para repoblaciones de la misma especie en otros ámbitos geográficos.

PINUS PINASTER

2.1 Distribución

Las repoblaciones de *Pinus pinaster* en Castilla y León ocupan unas 82.000 ha. Esta superficie es relativamente reducida comparando con la de las masas naturales y seminaturales, que asciende a 283.000 ha. Aunque las repoblaciones de pino negral se distribuyen por todas las provincias de la comunidad autónoma, las masas más representativas se encuentran en Soria (22.700 ha), Zamora (15.800 ha) y Salamanca (12.800 ha), siendo menos frecuentes en el resto de provincias (mapa 1). Como especie secundaria o acompañante se encuentra en 31.000 ha, de las cuales cerca de 10.000 ha se sitúan en la provincia de León, generalmente repoblaciones mezcladas con *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*.

La silvicultura de las repoblaciones de pino negral está condicionada actualmente por la reducción de los aprovechamientos resineros y por la baja calidad de la madera para sierra en muchas de estas masas. En las áreas menos secas y con buenas procedencias, la silvicultura se orienta generalmente a la producción de madera de sierra. En las estaciones intermedias se tiende a la instalación progresiva de frondosas, mientras que en las estaciones más secas y de suelos arenosos, lo ideal será el mantenimiento del pinar con un objetivo principal protector (Fuente: Plan Forestal de Castilla y León 2002).



MAPA 1:
Distribución de las repoblaciones de *Pinus pinaster* en Castilla y León.

FUENTE: D.G.Biodiversidad: Servicio de Material Genético y Banco de Datos de la Biodiversidad; CIFOR-INIA. Basado en la cartografía de los mapas forestales MFE 200 y MFE 50, en las Regiones de procedencia y en los datos del Inventarios Forestal Nacional segundo y tercero.

2.2 Calidad de estación

A partir de 46 análisis de tronco realizados en árboles dominantes de repoblaciones con más de 40 años (anexo 2) se ha construido un modelo de calidad de estación para pino negral. La mayor edad encontrada ha sido 68 años, aunque las mayores edades corresponden a las peores calidades de estación. De las tres provincias muestreadas, las mayores calidades se encontraron en Salamanca, seguida de Zamora y Soria. En la figura 2 se presentan los datos correspondientes a los análisis de tronco realizados junto con las curvas de calidad de estación obtenidas.

El modelo de calidad de estación desarrollado utiliza la función de Richards anamórfica, cuya expresión ajustada a los datos de repoblaciones de pino negral es la siguiente:

$$Ho_2 = Ho_1 \cdot \left[\frac{1 - \exp(-0,0361 \cdot T_2)}{1 - \exp(-0,0361 \cdot T_1)} \right]^{1,6209}$$

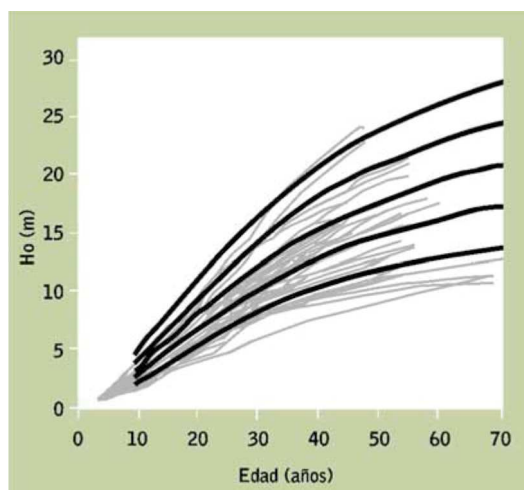
siendo Ho_1 y Ho_2 las alturas dominantes en m a las edades T_1 y T_2 en años respectivamente.

Este modelo presenta asíntota variable por calidad de estación, característica deseable en los modelos de calidad de estación. No obstante, la ausencia de datos de edades avanzadas hace que su rango de validez sea hasta los 70 años, ya que las extrapolaciones por encima de esta edad pueden ser erróneas. Cuando se disponga de datos de edades mayores sería aconsejable el ajuste de un nuevo modelo.

A la hora de utilizar este modelo de calidad de estación, conociendo un par de datos altura dominante-edad y la edad de referencia o edad índice se obtiene el índice de sitio; o bien se estima la altura dominante a otra edad si se conoce el índice de sitio. La edad de referencia o edad índice se ha fijado en los 50 años dado que las repoblaciones mayores a 50 años son poco frecuentes y no se dispone de información suficiente sobre el crecimiento en altura dominante a partir de esta edad. Se han establecido cinco calidades de estación correspondientes a unos índices de sitio de 12, 15, 18, 21 y 24 m a la edad índice de 50 años.

En la figura 3 se presentan las curvas de calidad de estación correspondientes a los índices de sitio 12, 15, 18, 21 y 24 m junto con los límites entre calidades de estación. Los valores de estas curvas de calidad cada 10 años se presentan en la tabla 1, así como los de los límites entre calidades de estación.

FIGURA 2:
Datos de los análisis de tronco
y curvas de calidad de estación.



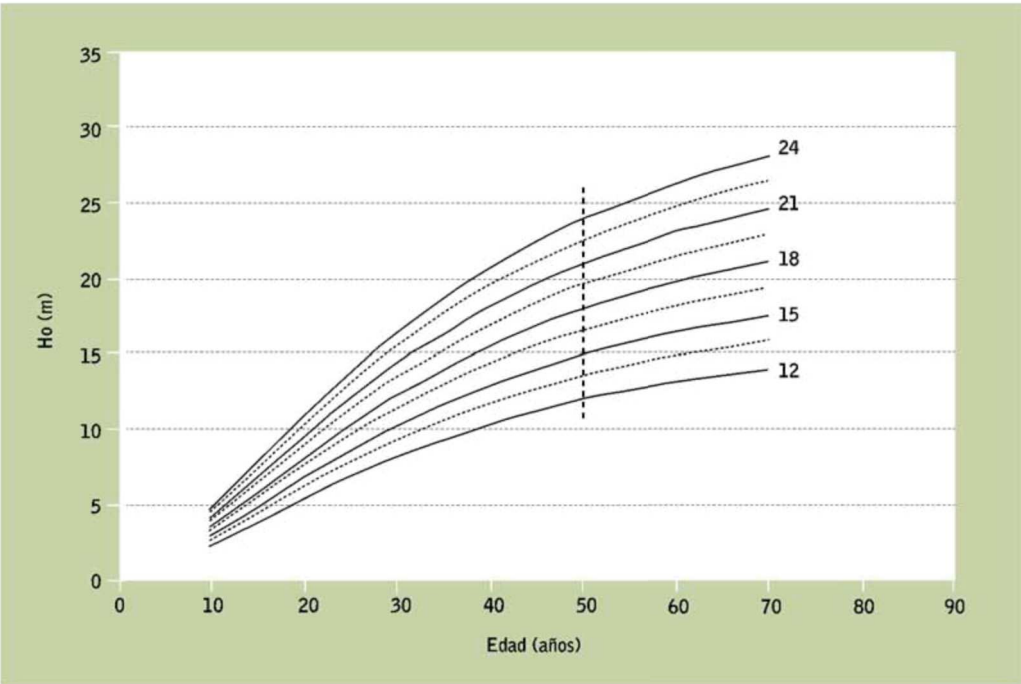


FIGURA 3:
Curvas de calidad de estación para repoblaciones de *Pinus pinaster* en Castilla y León. Índices de sitio 12, 15, 18, 21 y 24 a los 50 años. Las líneas a trazos representan los límites entre calidades.

Edad (años)	IS 12	Límite 12-15	IS 15	Límite 15-18	IS 18	Límite 18-21	IS 21	Límite 21-24	IS 24
10	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,6
15	3,9	4,4	4,9	5,4	5,9	6,3	6,8	7,3	7,8
20	5,5	6,1	6,8	7,5	8,2	8,9	9,6	10,2	10,9
25	6,9	7,8	8,6	9,5	10,4	11,2	12,1	13,0	13,8
30	8,2	9,2	10,3	11,3	12,3	13,4	14,4	15,4	16,4
35	9,4	10,5	11,7	12,9	14,1	15,2	16,4	17,6	18,7
40	10,4	11,7	13,0	14,3	15,6	16,9	18,2	19,5	20,8
45	11,3	12,7	14,1	15,5	16,9	18,3	19,7	21,1	22,5
50	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	19,5	21,0	22,5	24,0
60	13,2	14,8	16,5	18,1	19,8	21,4	23,1	24,7	26,4
70	14,0	15,8	17,5	19,3	21,0	22,8	24,6	26,3	28,1

TABLA 1:
Evolución de la altura dominante en m según las curvas de calidad de estación y límites entre calidades.

2.3 Guías de densidad observada

Con el fin de reflejar la densidad en repoblaciones de *Pinus pinaster* en las que ya se han aplicado una o más claras, se presenta una caracterización selvícola a partir de datos procedentes de un muestreo realizado en masas ya aclaradas en las que se consideró que la densidad era apropiada para la fase de desarrollo de la repoblación (anexo 1). Por lo tanto, la caracterización presentada refleja la selvicultura observada en estas parcelas muestreadas en repoblaciones de pino negro.

La caracterización se basa en las relaciones fundamentales utilizadas frecuentemente en la construcción de tablas de producción, ajustadas a los datos de las repoblaciones muestreadas:

- 1ª relación fundamental: modelo de calidad de estación

- 2ª relación fundamental: $\ln(N) = 8,994 - 0,995 \cdot \ln(Ho)$

$$R^2 = 0,58$$

- 3ª relación fundamental: $Dg = -11,165 + 6,634 \cdot \frac{100}{\sqrt{N}} + 0,716 \cdot Ho$

$$R^2 = 0,91$$

- 4ª relación fundamental: $\ln(V) = -0,750 + 1,023 \cdot \ln(G) + 0,922 \cdot \ln(Ho)$

$$R^2 = 0,99$$

- 5ª relación fundamental: $Hm = -0,612 + 0,989 \cdot Ho$

$$R^2 = 0,98$$

donde N es el número de pies por hectárea, Ho la altura dominante en m, Dg el diámetro medio cuadrático en cm, V el volumen en m³/ha, G el área basimétrica en m²/ha y Hm la altura media en m.

Las guías de densidad observada por calidad de estación se han construido utilizando estas relaciones fundamentales. En la tabla 2 se presentan los valores cada 10 años y para un rango de edades de 20 hasta 60 años, ya que no se han muestreado repoblaciones con más de 60 años ni menores a 14 años (anexo1). La evolución del número de pies en cada una de estas tablas refleja una disminución promedio del número de pies por calidad de estación. En la figura 4 se presenta la relación entre el número de pies por hectá-

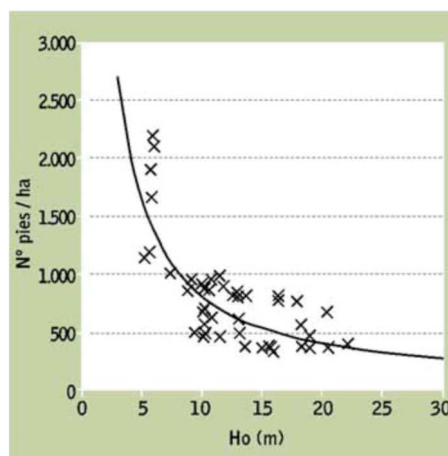


FIGURA 4:
Norma de densidad observada junto con los
datos de las parcelas muestreadas.

rea y la altura dominante (segunda relación fundamental) junto con los datos de las parcelas muestreadas, reflejando la norma de densidad observada.

Tabla 2:

Guías de densidad observada por calidades de estación. Para aquellos rangos de edades y calidades de estación en los que no se dispone de datos se presentan los valores estimados en gris o blanco.

Calidad de estación 12						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	5,5	1.485	4,8	10,0	11,6	28
30	8,2	989	7,5	15,8	19,4	69
40	10,4	784	9,7	20,0	24,5	108
50	12,0	679	11,3	22,9	27,9	141
60	13,2	618	12,4	25,0	30,2	167

Calidad de estación 15						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	6,8	1.189	6,1	13,0	15,7	46
30	10,3	792	9,5	19,8	24,3	106
40	13,0	628	12,2	24,6	29,8	162
50	15,0	544	14,2	28,0	33,5	209
60	16,5	495	15,7	30,4	36,0	245

Calidad de estación 18						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	8,2	992	7,5	15,8	19,4	68
30	12,3	661	11,6	23,5	28,6	148
40	15,6	524	14,8	29,0	34,5	223
50	18,0	453	17,2	32,9	38,5	285
60	19,8	413	18,9	35,6	41,2	333

Calidad de estación 21						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	9,6	851	8,8	18,4	22,7	92
30	14,4	567	13,6	27,0	32,4	194
40	18,2	449	17,4	33,1	38,7	289
50	21,0	389	20,2	37,5	43,0	367
60	23,1	354	22,2	40,6	45,8	428

Calidad de estación 24						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	10,9	745	10,2	21,0	25,7	119
30	16,4	496	15,6	30,4	36,0	244
40	20,8	393	19,9	37,1	42,6	360
50	24,0	340	23,1	42,0	47,1	456
60	26,4	310	25,5	45,4	50,1	531

El área basimétrica reflejada en estas guías de densidad por calidades varía a los 60 años de 30,2 a 50,1 m²/ha, valores ligeramente inferiores a los presentados en las tablas de producción de densidad variable para *Pinus pinaster* en el Sistema Central (García y Gómez, 1989), que varían entre 32,7 y 53,1 según calidades y régimen de claras. En las guías de densidad se obtiene a los 60 años un diámetro medio cuadrático entre 25 y 45,4 cm, mientras que en las tablas de producción de masas naturales en el Sistema Central varían de 26,6 a 34,7 en el régimen moderado de claras y

FOTO 6:
Parcela en repoblación
joven de pino negral.



de 28,3 a 37,3 en el régimen fuerte de claras. Según estos datos, en las guías de densidad observada se obtienen diámetros elevados en las dos calidades superiores, lo que refleja el potencial productivo de las repoblaciones de pino negral en estaciones buenas, siempre que la calidad de fuste permita obtener madera de sierra.

2.4 Densidad propuesta

Para definir una propuesta selvícola para las repoblaciones de pino negral es necesario estudiar cuál es la densidad más adecuada. Las normas selvícolas que relacionan el número de pies de un rodal con el diámetro medio cuadrático o la altura dominante resultan de gran utilidad para este estudio. A continuación se estudia y discute la densidad adecuada para las masas artificiales de pino negral utilizando el índice de densidad de Reineke, que relaciona el número de pies por hectárea con el diámetro medio cuadrático.

La relación entre el valor del índice de densidad de Reineke en un rodal con la máxima densidad observada para la especie refleja adecuadamente la espesura relativa de la masa. A partir de 10 parcelas situadas en masas de máxima densidad encontrada (anexo 3) se ha obtenido la recta de máxima densidad de Reineke para repoblaciones de pino negral:

$$\ln(N) = 12,562 - 1,605 \cdot \ln(Dg) \quad \rightarrow \quad SDI_{\max} = 1.629$$

donde N es el número de pies por hectárea, Dg el diámetro medio cuadrático en cm y SDI_{max} el índice de densidad de Reineke correspondiente a la máxima densidad, cuyo valor es 1.629. En el anexo 3 se dispone de información sobre la obtención de esta recta de máxima densidad para repoblaciones de pino negral.

En la figura 5 se han representado los valores observados en las parcelas muestreadas en repoblaciones de *Pinus pinaster* con una espesura adecuada, datos utilizados en la guía de densidad observada (anexo1), junto con las rectas que corresponden al 25, 35, 45 y 60% de la máxima densidad y la recta de máxima densidad observada para repoblaciones de esta especie. Según esta figura, muchas de las parcelas observadas se sitúan por debajo de la recta del 35% de la máxima densidad, propuesta por Long (1985) como límite inferior de densidad para ocupar completamente la estación, y muy pocas parcelas se acercan al 60%. La mayor parte de las parcelas quedan dentro del intervalo del 25-45% de la máxima densidad, que corresponde con un intervalo del índice de densidad de Reineke de 406 a 732. Las parcelas con índices de densidad inferiores al 25% del SDI_{max} corresponden a masas jóvenes con densidad inicial y diámetros bajos que no ocupan totalmente la estación. Según Long (1985) el rango óptimo de densidades es del 35-60% del SDI_{max}, que para repoblaciones de pino negral supone unos valores del SDI entre 570 y 977. Según estas cifras, las masas muestreadas en las que la densidad se consideró adecuada presentan espesuras relativamente bajas.

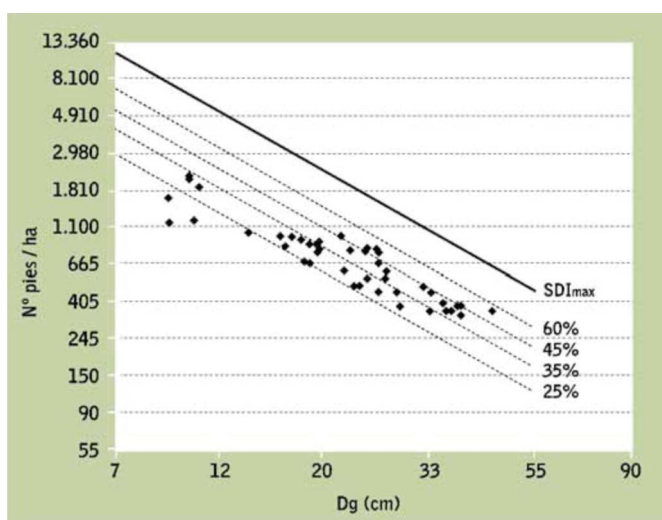


FIGURA 5:
Recta de Reineke de máxima densidad (SDI_{max}) para pino negral y rectas del 25, 35, 45 y 60% de esta máxima densidad junto a los datos de las parcelas medidas en repoblaciones en Castilla y León.

Por otra parte, en las parcelas de claras del CIFOR-INIA situadas en repoblaciones de pino negral los índices de densidad de Reineke varían entre 750 en las claras más débiles, 700 en las claras moderadas y sobre 600 en las claras más fuertes, lo que supone aproximadamente entre el 45% y 35% de la máxima densidad ($SDI_{max} = 1629$). En estos ensayos de claras se comparan distintas intensidades de claras bajas, de débiles a fuertes (anexo 4), y en distintas calidades de estación. Los

resultados muestran una buena respuesta en crecimiento en diámetro con claras de moderadas a fuertes, especialmente en las mejores estaciones, con pocas diferencias entre estas dos intensidades de claras (Ortega *et al.*, 1997; Montero *et al.*, 1999). A su vez, la pérdida de crecimiento en volumen en las claras más fuertes con respecto a las parcelas no aclaradas es poco importante. Por lo tanto, las claras más fuertes se deben reservar para las mejores estaciones donde haya un interés de producción de madera de sierra, siendo más apropiado para el resto de situaciones las claras moderadas (entre un 25 y 30% de área basimétrica extraída).

Teniendo en cuenta estos resultados y los datos expuestos en la figura 5, se propone como índice de densidad de referencia un 35% de la máxima densidad encontrada, límite inferior propuesto por Long (1985) y que en este caso supone un índice de densidad de 569. En las edades más tempranas y en las mejores calidades de estación donde se apliquen claras más fuertes la densidad se puede acercar al 25% ($SDI=406$) de la máxima densidad tras realizar la clara, mientras que antes de la clara, con claras moderadas y en edades más avanzadas se puede aproximar al 45% ($SDI=732$). En la tabla 3 se expone la evolución del número de pies por hectárea y del área basimétrica según aumenta el diámetro medio cuadrático para las densidades del 45, 35 y 25% de la máxima densidad.

Tabla 3: Evolución del número de pies por hectárea y área basimétrica con el diámetro medio cuadrático para las densidades del 45, 35 y 25% del máximo índice de densidad de Reineke (SDI_{max}).

Dg (cm)	45% SDI_{max}		35% SDI_{max}		25% SDI_{max}	
	Nº pies/ha	G (m ² /ha)	Nº pies/ha	G (m ² /ha)	Nº pies/ha	G (m ² /ha)
10	3.190	25,1	2.481	19,5	1.772	13,9
15	1.664	29,4	1.294	22,9	925	16,3
20	1.049	32,9	816	25,6	583	18,3
25	733	36,0	570	28,0	407	20,0
30	547	38,7	426	30,1	304	21,5
35	427	41,1	332	32,0	237	22,8
40	345	43,3	268	33,7	192	24,1



FOTO 7:
Repoblación de *Pinus pinaster* en
la que se ha aplicado una clara
recientemente.

2.5 Propuesta selvícola y Tablas de producción

Se presenta a continuación una propuesta selvícola para las repoblaciones de pino negral. En primer lugar se describen las características de las intervenciones recomendadas (tipo, intensidad y frecuencia) teniendo en cuenta la calidad de estación y el objetivo principal de la masa. En base a estas recomendaciones y a la densidad propuesta en el apartado anterior se ha elaborado una tabla de producción por calidad de estación que refleja la selvicultura propuesta. Estas tablas de producción se han construido utilizando las relaciones fundamentales de la guía de densidad observada. Cada tabla de producción se acompaña de un esquema selvícola que resume la propuesta selvícola.

Clareos

La aplicación de clareos se hace imprescindible en las repoblaciones con densidades iniciales elevadas, más frecuentes cuando la repoblación es por siembra, ya que si no pueden darse fenómenos de estancamiento. Los clareos tienen como objetivo reducir la competencia entre individuos de modo que se garantice el vigor y la estabilidad de la masa, además de reducir la cantidad de combustible y romper la continuidad de la masa. En las repoblaciones de pino negral con densidades iniciales altas se proponen clareos entre los 10 y los 20 años según calidad de estación y disponibilidades presupuestarias, dejando tras el clareo una densidad en torno a 1500

pies/ha. En las repoblaciones más recientes las densidades iniciales suelen ser menores por lo que se puede evitar esta intervención y esperar a realizar la primera clara.

En los clareos se seguirá un criterio de selección negativo, eliminando los individuos con peores fustes, bifurcados, muy ramosos y los pies moribundos. Dependiendo de la región de procedencia utilizada en la repoblación, las curvaturas basales y de fuste son muy frecuentes en las repoblaciones de pino negral, por lo que los clareos toman un papel importante al eliminar los pies peor formados. La intensidad de los clareos no debe ser fuerte para evitar el desarrollo del matorral y no comprometer la estabilidad de la masa. Es aconsejable que los clareos vayan acompañados de una poda baja hasta los 2-2,5 m en todos los pies para favorecer la prevención de incendios y la movilidad en la masa, así como mejorar la calidad de la troza basal.

Primera clara

La primera clara se realizará entre los 20 y los 40 años, en función de la calidad de estación y de si ha habido un clareo previo. Esta edad de iniciación será menor en las mejores calidades de estación, donde la masa sigue una dinámica más rápida, que en las peores estaciones. A su vez, la edad de la primera clara se puede retrasar algo cuando se haya realizado un clareo previo.

Respecto al tipo de clara, la primera clara será en la mayor parte de los casos semisistemática, con el fin de abrir calles para futuras intervenciones. En general, entre calles se propone aplicar claras por lo bajo, ya que la baja calidad de la madera no justifica la realización de claras con selección de árboles de porvenir. Las claras por lo bajo se aproximarán en muchos casos a claras mixtas, ya que puede ser necesario extraer árboles codominantes e incluso dominantes con muchas deformaciones en el fuste, frecuentes en algunas procedencias de pino negral. Las claras de selección de árboles de porvenir acompañadas de podas altas hasta los 5 m sólo se justifican en las mejores estaciones y en repoblaciones con calidad de fustes buena, donde exista un interés de producir madera de sierra de calidad. El número de árboles de porvenir a seleccionar en esta primera clara será en torno a los 300-400 pies/ha y se eligen los pies más vigorosos y mejor formados entre los árboles dominantes y codominantes.

El peso de la primera clara será de moderado a fuerte (25-30% del área basal métrica), ya que en las primeras edades la reacción a la clara es buena. Por otra parte, se debe procurar que el volumen extraído en la clara alcance los 30-50 m³/ha para que la intervención sea rentable. En repoblaciones con densidades elevadas donde no se haya realizado un clareo previo el peso de la primera clara será menor, ya que si se dejan pocos pies con relaciones altura-diámetro elevadas aumentan considerablemente los riesgos de derribos por viento. En estas situaciones conviene aplicar las claras gradualmente para ir asegurando la estabilidad de la masa.



FOTO 8:
Aspecto de dos parcelas
muestreadas en las que se
observan las deformaciones
de fuste típicas de muchas
masas de pino negral.



Claras sucesivas

Tipo de claras

El tipo de claras aconsejado para repoblaciones de pino negral es similar a lo expuesto para la primera clara entre calles. Las claras serán de bajas a mixtas, eliminando los pies dominados y moribundos así como pies mal formados. La alta frecuencia de pies malformados en muchas repoblaciones de negral obliga en muchos casos a realizar claras mixtas. En las estaciones buenas y donde la calidad de fuste permita obtener madera de sierra de calidad se pueden aplicar claras con selección de árboles de porvenir, eliminando los individuos que dificultan el desarrollo de estos pies de porvenir.

A la hora de seleccionar los árboles a extraer en una clara se debe tener en cuenta la presencia de otras especies. En muchas repoblaciones son frecuentes los subpisos de frondosas, que pueden favorecerse mediante la aplicación de claras. Esta opción es especialmente interesante en aquellas repoblaciones de pino negral con muy mala calidad de fuste, así como en calidades de estación baja y donde el objetivo principal sea el protector.

Rotación de las claras

La rotación entre claras será menor en buenas calidades de estación, donde la dinámica de la masa es más rápida, y en las primeras fases de desarrollo. En peores calidades de estación se puede reducir la intensidad del régimen de claras alargando la rotación entre claras, de modo que el peso de cada clara sea lo suficientemente alto para rentabilizar la intervención. Se proponen rotaciones que varían desde 7 años en edades jóvenes en la mejores estaciones, donde se plantea un régimen selvícola más intenso, hasta los 15 años en edades más avanzadas en calidades de estación bajas o cuando el objetivo de la repoblación no sea productivo.

Peso y número de claras

En las mejores estaciones, con crecimientos elevados, el régimen de claras será intenso cuando el objetivo sea producir madera de sierra de calidad. En estas situaciones se pueden aplicar cuatro claras cada 7-10 años con pesos entre el 25 y 30% del área basimétrica. En calidades de estación bajas o cuando exista un objetivo prioritario protector se proponen tres intervenciones de moderadas a fuertes (25-30% del área basimétrica) con una rotación entre claras de 10-15 años.

Turno

La elección del turno es una decisión compleja que depende en gran medida de los objetivos principales de la repoblación, variando si el objetivo principal es productor o protector, o por ejemplo, si se quiere cambiar la especie al finalizar el turno. En líneas generales los turnos son menores cuando el objetivo es productor y se alargan en repoblaciones protectoras. También hay que tener en cuenta que las grandes superficies con edades homogéneas presentes en las repoblaciones obligan a realizar sacrificios de cortabilidad. En los esquemas selvícolas se proponen turnos de referencia para cada calidad de estación, pero siempre teniendo presente las consideraciones anteriores. En las mejores calidades de estación con objetivo productor el turno se puede reducir a 60 años, mientras que en el resto de repoblaciones se plantea un turno de 80 años.

Tablas de producción

Para cada calidad de estación se plantea una propuesta selvícola en formato de tabla de producción. Las intervenciones que reflejan estas tablas se basan en las recomendaciones anteriores. A su vez, en la construcción de las tablas también se ha considerado la densidad propuesta en el apartado anterior. En el capítulo de métodos se ofrece más información sobre la construcción de estas tablas de producción. Junto a cada tabla de producción se adjunta un esquema selvícola que describe las intervenciones propuestas en la tabla. Finalmente se añade una figura que representa la propuesta selvícola reflejada en las tablas para las calidades baja, media y alta junto a la recta de Reineke de máxima densidad y las rectas del 25, 35 y 45% de esta máxima densidad (figura 6).

CALIDAD DE ESTACIÓN 12

Esquema selvícola:

- ≈20 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 40 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 50 años: 2ª clara por lo bajo.
- 65 años: 3ª clara por lo bajo.
- Turno: 80 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
40	10,4	1.500	13,4	21,1	92,8	575	12,1	29,4	925	14,2	14,6	63,4
50	12,0	925	19,2	26,9	135,7	375	16,7	42,4	550	20,8	18,6	93,2
65	13,6	550	26,9	31,2	178,0	150	24,2	40,1	400	27,8	24,3	137,9
80	14,6	400	32,5	33,1	201,8							

CALIDAD DE ESTACIÓN 15

Esquema selvícola:

- ≈15-20 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 35 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 45 años: 2ª clara por lo bajo.
- 60 años: 3ª clara por lo bajo.
- Turno: 75 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
35	11,7	1.500	14,3	24,2	119,4	575	12,9	37,8	925	15,2	16,7	81,6
45	14,1	925	20,7	31,2	182,8	375	18,0	57,2	550	22,4	21,6	125,6
60	16,5	550	28,9	36,1	245,9	200	26,0	73,8	350	30,4	25,5	172,1
75	17,9	350	37,1	37,9	279,6							

CALIDAD DE ESTACIÓN 18

Esquema selvícola:

- ≈15 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 30 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 40 años: 2ª clara por lo bajo.
- 50 años: 3ª clara por lo bajo.
- 60 años: 4ª clara por lo bajo.
- Turno: 70 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
30	12,3	1.500	14,8	25,7	133,1	525	13,3	38,5	975	15,5	18,4	94,6
40	15,6	975	21,2	34,5	222,7	375	18,5	66,1	600	22,8	24,4	156,6
50	18,0	600	28,8	39,1	289,3	175	26,2	71,3	425	29,8	29,6	218,0
60	19,8	425	35,2	41,3	333,5	125	32,0	82,9	300	36,4	31,2	250,7
70	21,0	300	42,2	42,0	359,2							

CALIDAD DE ESTACIÓN 21

Esquema selvícola:

- ≈10-15 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 25 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles*. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 33 años: 2ª clara por lo bajo*.
- 42 años: 3ª clara por lo bajo*.
- 52 años: 4ª clara por lo bajo*.
- Turno: 65 años.

* Cuando la calidad de fuste sea buena se pueden aplicar claras de selección de árboles de porvenir, acompañadas de una poda alta en los mejores pies (300-350 pies/ha) en la primera clara.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
25	12,1	1.500	14,6	25,2	127,8	550	13,2	38,7	950	15,4	17,7	89,1
33	15,6	950	21,5	34,6	224,2	350	18,7	63,7	600	23,0	25,0	160,4
42	18,8	600	29,4	40,7	313,6	200	26,7	88,3	400	30,6	29,4	225,3
52	21,5	400	37,4	43,9	383,0	125	34,4	103,3	275	38,6	32,3	279,7
65	23,9	275	45,9	45,5	439,0							

CALIDAD DE ESTACIÓN 24

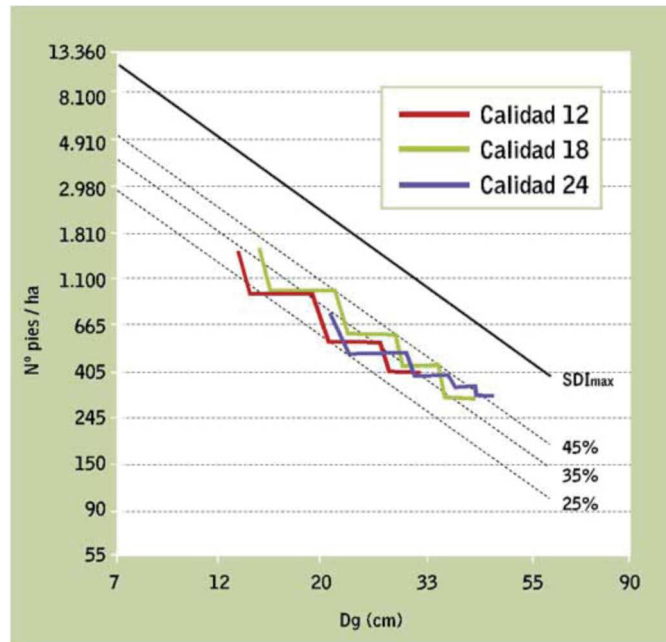
Esquema selvícola:

- ≈10 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 23 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles*. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 30 años: 2ª clara por lo bajo*.
- 38 años: 3ª clara por lo bajo*.
- 48 años: 4ª clara por lo bajo*.
- Turno: 60 años.

* Cuando la calidad de fuste sea buena se pueden aplicar claras de selección de árboles de porvenir, acompañadas de una poda alta en los mejores pies (300-350 pies/ha) en la primera clara.

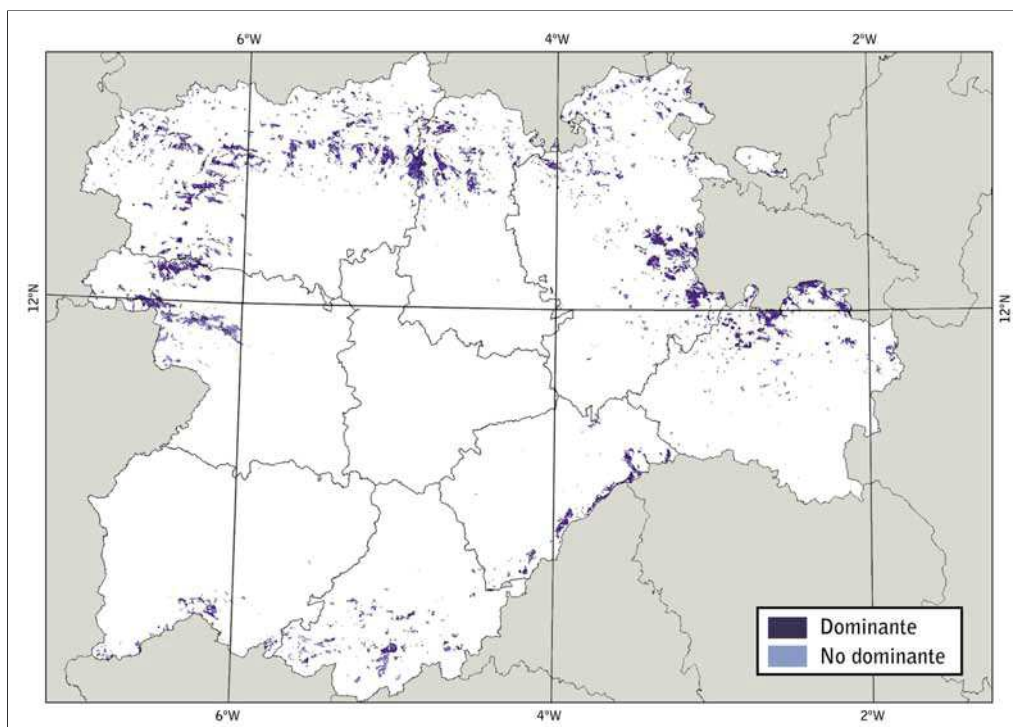
Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
23	12,7	1.500	15,0	26,7	141,8	550	13,5	42,9	950	15,9	18,8	98,9
30	16,4	950	22,1	36,5	248,0	375	19,2	75,5	575	23,8	25,6	172,5
38	20,0	575	30,8	42,9	350,1	200	28,0	102,8	375	32,2	30,5	247,3
48	23,4	400	38,8	47,2	447,7	125	35,7	120,8	250	42,1	34,7	326,9
60	26,4	250	49,7	48,4	512,1							

FIGURA 6:
Propuesta selvícola para las
calidades de estación 12, 18 y 24
junto con la recta de Reineke de
máxima densidad (SDImax) para
pino negral y rectas del 25, 35 y
45% de esta máxima densidad.



PINUS SYLVESTRIS**3.1 Distribución**

Las repoblaciones dominadas por *Pinus sylvestris* en Castilla y León ocupan cerca de 194.000 ha distribuidas por todas las provincias con la excepción de Valladolid (mapa 2). Además la Comunidad Autónoma cuenta con otras 162.000 ha de la especie de las cuales 107.000 tienen origen natural y están dentro de las áreas delimitadas para las regiones de procedencia de la especie en Castilla y León, pudiendo el resto clasificarse como masas seminaturales. Como especie secundaria o acompañante aparece en otras 123.000 ha. Las áreas con mayor representación de repoblaciones de pino silvestre son el Sistema Ibérico y Montes de Oca y los páramos detríticos palentinos y leoneses y diversas áreas similares en la provincia de Zamora, siendo León la provincia con mayor superficie (62.700 ha). En la zona de páramos las repoblaciones suelen presentar mezcla de especies, generalmente silvestre, negral y laricio. En el Sistema Central la superficie repoblada con esta especie es menor. La mayor parte de las repoblaciones se realizaron a partir de la segunda mitad del siglo XX sobre terrenos dedicados anteriormente al pastoreo y, en menor medida, sobre monte bajo de rebollo que constituyen actualmente masas mixtas.



MAPA 2:
Distribución de las repoblaciones de *Pinus sylvestris* en Castilla y León.

FUENTE: D.G.Biodiversidad: Servicio de Material Genético y Banco de Datos de la Biodiversidad; CIFOR-INIA. Basado en la cartografía de los mapas forestales MFE 200 y MFE 50, en las Regiones de procedencia y en los datos del Inventarios Forestal Nacional segundo y tercero.

La situación selvícola actual de las masas artificiales de pino silvestre en Castilla y León es muy variada. En gran parte de las repoblaciones se ha aplicado al menos la primera clara, aunque existen superficies en las que todavía no se ha realizado ninguna intervención y son poco frecuentes las zonas en las que ya se han aplicado más de una clara. En algunos casos, las claras han ido acompañadas de podas altas en árboles de porvenir.

3.2 Calidad de estación

Con el fin de estimar la potencialidad productiva de las repoblaciones de pino silvestre se ha desarrollado un modelo de calidad de estación basado en el crecimiento en altura dominante de estos pinares. Para ello, se han utilizado datos procedentes de 48 análisis de tronco realizados en árboles dominantes de repoblaciones situadas en distintas estaciones (anexo 2). La mayor edad muestreada fue de 55

años. En la figura 7 se presenta la evolución de la altura con la edad para los distintos árboles muestreados junto con las curvas obtenidas.

La ecuación utilizada para predecir el crecimiento en altura dominante en repoblaciones de pino silvestre es la ecuación de McDills-Amateis (1992). La expresión de este modelo ya ajustado a los datos de los análisis de tronco es la siguiente:

$$Ho_2 = \frac{40,3331}{1 - \left[1 - \frac{40,3331}{Ho_1} \right] \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{1,5003}}$$

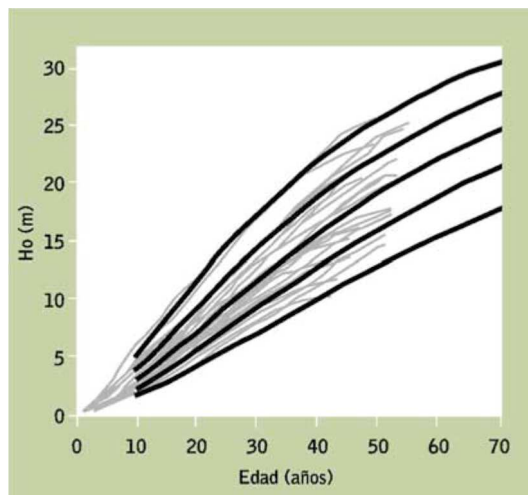


FIGURA 7:
Datos de los análisis de tronco
y curvas de calidad de estación.

siendo Ho_1 y Ho_2 las alturas dominantes en m a las edades T_1 y T_2 en años respectivamente.

Esta ecuación presenta la ventaja de permitir estimar tanto el índice de sitio, y así fijar la calidad de estación de la masa, como la evolución de la altura dominante con la edad de un modo invariante cualquiera que sea la edad de referencia y el intervalo de edad. Una desventaja de esta ecuación es que presenta una asíntota común, característica no deseable ya que cada calidad de estación tiene su propia asíntota. Este modelo es apropiado para el rango de edades utilizado en su construcción pero no debe extrapolarse más allá de los 70 años, por lo que se debe considerar como un modelo provisional hasta que se disponga de datos de mayor edad.

La edad de referencia o edad índice debe ser próxima al turno, pero dado que las repoblaciones mayores a 50 años son poco frecuentes y no se dispone de información suficiente sobre el crecimiento en altura dominante a partir de esta edad, se ha elegido como edad índice los 50 años. Las calidades de estación que se han establecido corresponden a unos índices de sitio de 12, 15, 18, 21 y 24 m a la edad de referencia de 50 años. En la figura 8 se presentan las curvas de calidad de estación correspondientes a estos cinco índices de sitio junto con los límites entre calidades de estación. En la tabla 4 se presenta la altura dominante cada diez años para cada curva de calidad de estación y cada curva límite entre calidades.

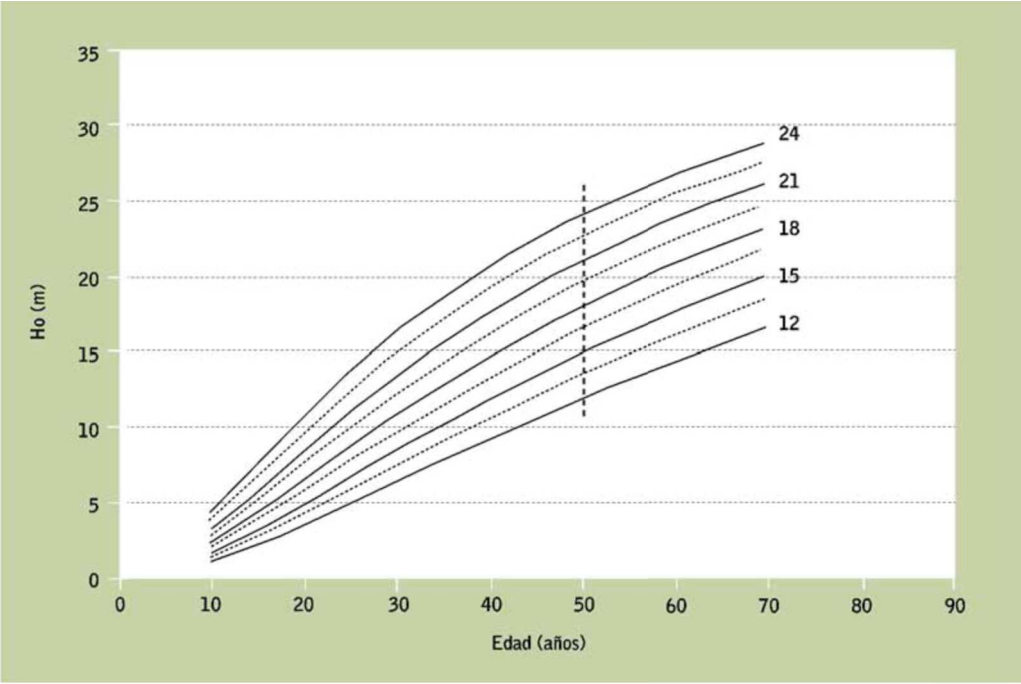


FIGURA 8:
Curvas de calidad de estación para repoblaciones de *Pinus sylvestris* en Castilla y León. Índices de sitio 12, 15, 18, 21 y 24 a los 50 años. Las líneas a trazos representan los límites entre calidades.

Edad (años)	IS 12	Límite 12-15	IS 15	Límite 15-18	IS 18	Límite 18-21	IS 21	Límite 21-24	IS 24
10	1,5	1,7	2,0	2,4	2,7	3,1	3,6	4,1	4,7
15	2,6	3,1	3,6	4,1	4,7	5,4	6,1	6,9	7,8
20	3,9	4,6	5,3	6,0	6,8	7,7	8,7	9,8	10,9
25	5,3	6,1	7,0	7,9	8,9	10,0	11,2	12,4	13,8
30	6,6	7,6	8,7	9,8	11,0	12,2	13,5	14,9	16,4
35	8,0	9,2	10,4	11,6	12,9	14,3	15,7	17,1	18,7
40	9,4	10,7	12,0	13,4	14,8	16,2	17,6	19,1	20,7
45	10,7	12,1	13,5	15,0	16,4	17,9	19,4	20,9	22,4
50	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	19,5	21,0	22,5	24,0
60	14,4	16,1	17,7	19,2	20,7	22,3	23,7	25,2	26,6
70	16,6	18,3	20,0	21,5	23,1	24,5	25,9	27,3	28,6

TABLA 4:
Evolución de la altura dominante en m según las curvas de calidad de estación y límites entre calidades.

3.3 Guías de densidad observada

Se presenta una caracterización por calidades de estación de las repoblaciones de pino silvestre muestreadas para elaborar una propuesta selvícola para Castilla y León. Es importante tener presente que las parcelas muestreadas se instalaron en zonas donde ya se había realizado una o varias claras con anterioridad, y en las que se consideró que la densidad era apropiada para la fase de desarrollo de la repoblación. Por lo tanto, estos datos reflejan la selvicultura media observada en estas parcelas. En el anexo 1 se dispone de más información sobre las parcelas utilizadas.

FOTO 9:
Parcela de pino silvestre en una
repoblación joven podada.



Para realizar esta caracterización se han utilizado las siguientes relaciones fundamentales, necesarias para construir unas tablas de producción de selvicultura observada, ajustadas a los datos de las repoblaciones muestreadas.

- 1ª relación fundamental: modelo de calidad de estación
- 2ª relación fundamental: $\ln(N) = 8,32245 - 0,67721 \cdot \ln(Ho)$
 $R^2=0,6083$
- 3ª relación fundamental: $\ln(Dg) = 4,36156 - 0,35953 \cdot \ln(N) + 0,41028 \cdot \ln(Ho)$
 $R^2=0,8506$
- 4ª relación fundamental: $\ln(V) = -0,64154 + 1,02361 \cdot \ln(G) + 0,90067 \cdot \ln(Ho)$
 $R^2=0,9935$
- 5ª relación fundamental: $Hm = 0,95646 \cdot Ho$
 $R^2=0,9973$

donde N es el número de pies por hectárea, Ho la altura dominante en m, Dg el diámetro medio cuadrático en cm, V el volumen en m³/ha, G el área basimétrica en m²/ha y Hm la altura media en m.

A partir de estas relaciones fundamentales se construyen las guías de densidad observada para cada calidad de estación (tabla 5). Estas guías de densidad se presentan en el rango de edades de 20 hasta 60 años, ya que no se han muestreado repoblaciones fuera de este intervalo. La disminución del número de pies en estas tablas no corresponde a las intervenciones aplicadas en las masas, sino a una evolución promedio por calidad de estación. En la figura 9 se presenta la curva obtenida en la segunda relación fundamental, que refleja la norma de densidad observada, junto con los datos de las parcelas muestreadas.

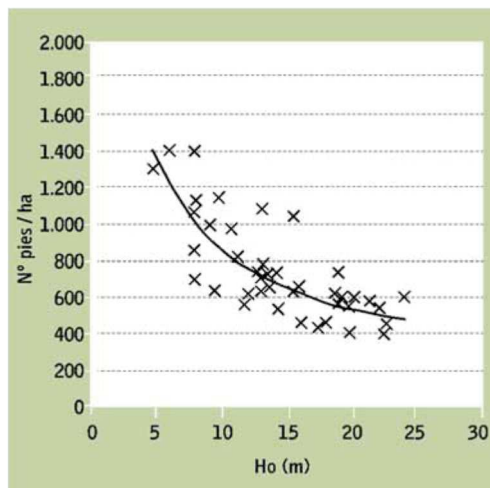


TABLA 5:

Guías de densidad observada por calidades de estación. Para aquellos rangos de edades y calidades de estación en los que no se dispone de datos se presentan los valores estimados en gris o blanco.

Calidad de estación 12						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	3,9	1.637	3,7	11,3	16,4	31
30	6,6	1.143	6,3	13,5	16,5	51
40	9,4	904	9,0	17,0	20,5	87
50	12,0	765	11,5	20,0	23,9	127
60	14,4	675	13,8	22,5	26,9	169

Calidad de estación 15						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	5,3	1.338	5,0	13,1	18,0	45
30	8,7	951	8,3	17,0	21,7	86
40	12,0	765	11,5	20,4	25,1	133
50	15,0	658	14,3	23,3	28,1	183
60	17,7	589	16,9	25,7	30,7	232

Calidad de estación 18						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	6,8	1.120	6,5	15,0	19,7	63
30	11,0	812	10,5	19,4	24,0	118
40	14,8	665	14,1	23,1	27,8	179
50	18,0	581	17,2	26,1	31,0	239
60	20,7	528	19,8	28,5	33,7	296

Calidad de estación 21						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	8,7	951	8,3	17,0	21,7	86
30	13,5	705	12,9	21,9	26,6	158
40	17,6	589	16,9	25,7	30,6	232
50	21,0	524	20,1	28,7	33,9	301
60	23,7	482	22,7	31,1	36,6	363

Calidad de estación 24						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
20	10,9	815	10,5	19,4	24,0	117
30	16,4	620	15,7	24,6	29,4	208
40	20,7	529	19,8	28,4	33,6	294
50	24,0	478	23,0	31,3	36,8	370
60	26,6	446	25,4	33,5	39,3	433

3.4 Densidad propuesta

Disponer de una norma selvícola que relacione la evolución de un rodal en número de pies con el diámetro medio cuadrático o la altura dominante es de gran utilidad para la gestión de las repoblaciones de *Pinus sylvestris*. A partir de los datos empleados en las guías de densidad observadas y utilizando la recta de máxima densidad de Reineke se discute la densidad adecuada para las masas artificiales de pino silvestre en Castilla y León.

Un modo de expresar la espesura de un rodal es el índice de densidad de Reineke, que relaciona el número de pies por hectárea con el diámetro medio cuadrático. El valor de este índice y su relación con la máxima densidad observada para la especie ofrecen una buena aproximación de la espesura de la masa. En el caso del pino

silvestre, como referencia de la máxima densidad se dispone de la recta de máxima densidad de Reineke propuesta por Río *et al.* (2001) para esta especie, ajustada a partir de parcelas no intervenidas de la red de parcelas de claras del CIFOR-INIA. La expresión de dicha recta es la siguiente:

$$\ln(N) = 12,90877 - 1,75 \cdot \ln(Dg) \rightarrow SDI_{max} = 1.445$$

donde N es el número de pies por hectárea, Dg el diámetro medio cuadrático en cm y SDImax el índice de densidad de Reineke correspondiente a la máxima densidad, cuyo valor es 1.445. Esta recta se obtuvo utilizando tanto masas naturales como artificiales, por lo que se han buscado masas procedentes de repoblación con espesura muy elevada en las que no se hubiesen realizado claras y se ha comprobado la validez de esta recta de máxima densidad para las repoblaciones de Castilla y León (anexo 3).



FOTO 10:
Repoblación de pino silvestre con
densidad elevada .

Utilizando los datos tomados en repoblaciones ya aclaradas donde se consideró que la espesura era adecuada (anexo 1), se han comparado las densidades observadas con la máxima densidad para la especie a través del índice de densidad de Reineke. En la figura 10 se han representado estos datos junto con la recta de máxima densidad, con la pendiente ajustada para la especie (-1,75), y las rectas que reflejan el 25, 30, 50 y 60% del SDImax. La mayor parte de las parcelas muestreadas quedan dentro del intervalo del 25-50% de la máxima densidad, lo que supone unos valores del índice de Reineke (SDI) de 361 a 722. Las parcelas que se sitúan por debajo del 25% del SDImax corresponden a masas jóvenes con densidad inicial baja y que todavía no han alcanzado un diámetro medio que permita ocupar totalmente la estación, mientras que las parcelas por encima del 50% del SDImax son

masas más desarrolladas con diámetros superiores a 25 cm, en las que probablemente hayan transcurrido varios años desde la última clara. Long (1985) propone como rango óptimo para las masas forestales el 35-60% del SDImax, que en este caso corresponde a unas densidades de SDI=506 - 867. Por lo tanto, las masas muestreadas consideradas como óptimas reflejan espesuras relativamente bajas.

Por otra parte, para proponer la norma de densidad se han utilizado también los resultados de los ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino silvestre. En estos ensayos se comparan distintos tipos e intensidades de claras y la rotación suele ser de 10 años (más información en el anexo 4). Según los resultados de estos ensayos (Montero *et al.*, 2001; Río *et al.*, 2005), las repoblaciones de pino silvestre en calidades de estación buenas responden bien a las claras fuertes, especialmente en las primeras fases de desarrollo, con poca pérdida de crecimiento en volumen y una buena respuesta en crecimiento en diámetro. Esta respuesta es menos evidente en calidades de estación bajas, por lo que pueden resultar más aconsejables las claras moderadas. A su vez, las claras bajas fuertes y aquellas claras de selección de árboles de porvenir en las que también se elimina parte del estrato dominado resultan muy favorables para evitar daños por nevadas fuertes. Sin embargo, cuando se realizan claras por lo alto, quitando la competencia a los mejores pies pero dejando el estrato dominado, la estabilidad de la masa frente a la nieve y viento se ve reducida.

Teniendo en cuenta estos resultados y otras particularidades de la especie, como la demanda de madera de calidad, parece lógico proponer un régimen de claras más intenso en las mejores calidades de estación y un régimen moderado en las peores calidades. Si se analizan los valores del índice de Reineke observados tras la clara en los distintos tratamientos de estos ensayos (anexo 4), en las claras más fuertes se aproxima al 35% de la máxima densidad y en las claras moderadas al 50%. Estos porcentajes corresponden aproximadamente a índices de densidad de Reineke de 500 y 700 respectivamente. Por otra parte, teniendo presente los datos reflejados en la

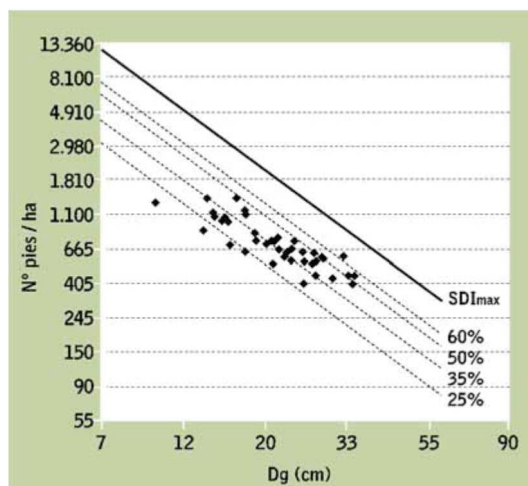


FIGURA 10:
Recta de Reineke de máxima densidad (SDImax) para pino silvestre y rectas del 25, 35, 50 y 60% de esta máxima densidad junto a los datos de las parcelas medidas en repoblaciones en Castilla y León.

figura 10 (corresponden con masas aclaradas en las que no se sabe cuando fue la última clara), la densidad del 50% del SDI_{max} se puede tomar como referencia para indicar cuando se debe realizar una clara, es decir, si la densidad es mayor se debería intervenir. Por lo tanto, disponemos de un rango de densidades dentro del cual se debe encuadrar la propuesta selvícola para repoblaciones de pino silvestre. En la tabla 6 se expone la evolución del número de pies por hectárea y del área basimétrica según aumenta el diámetro medio cuadrático para los límites de este rango de densidades.

TABLA 6:

Evolución del número de pies por hectárea y área basimétrica con el diámetro medio cuadrático para las densidades del 50% y 35% del índice de máxima densidad de Reineke (SDI_{max}).

Dg (cm)	50% SDI _{max}		35% SDI _{max}	
	Nº pies/ha	G (m ² /ha)	Nº pies/ha	G (m ² /ha)
15	1.766	31,2	1.236	21,8
20	1.068	33,5	747	23,5
25	722	35,5	506	24,8
30	525	37,1	368	26,0
35	401	38,6	281	27,0
40	317	39,9	222	27,9



FOTO 11:

Parcela de un ensayo de claras del CIFOR-INIA en una repoblación situada en Villasur de los Herreros (Burgos).

3.5 Propuesta selvícola y Tablas de producción

Teniendo en consideración el rango de densidades expuesto en el apartado anterior y utilizando algunas de las relaciones fundamentales de la guía de densidad observada, se han construido unas tablas de producción que reflejan una propuesta selvícola para cada calidad de estación. En las mejores calidades de estación se propone una selvicultura más intensiva que permita obtener productos de calidad al final del turno, siempre que se garantice a su vez la persistencia de la masa y las funciones asignadas a la misma (protección de suelo, recreo, etc.). En las calidades de estación bajas se plantea una selvicultura menos intensa cuyo objetivo es asegurar la persistencia y estabilidad de la masa, así como el cumplimiento de sus funciones. A continuación se describen las intervenciones recomendadas para repoblaciones de *Pinus sylvestris* y se finaliza con las tablas de producción que reflejan la guía selvícola propuesta.

Clareos

Los clareos son una intervención indispensable en aquellas repoblaciones con marcos de plantación o siembra reducidos. El objetivo de los clareos es disminuir la competencia con el fin de favorecer el vigor de los árboles y garantizar la estabilidad futura de la masa, así como mejorar la rentabilidad de las claras posteriores. Los clareos se realizarán entre los 10 y los 25 años dependiendo de la calidad de estación y las disponibilidades presupuestarias, con una densidad tras la intervención no superior a los 1.500 pies/ha. En repoblaciones con densidades iniciales bajas (menor o igual 1.500 pies/ha) se puede prescindir de esta intervención y esperar hasta que los productos a extraer sean comercializables y realizar la primera clara sin clareo previo.

Se aplicarán clareos con un criterio de selección negativo, es decir, se eliminan los individuos malformados (curvaturas, ahorquillados, etc.), moribundos, así como árboles dominantes o codominantes que presenten una ramosidad excesiva, frecuentes en los pinares de silvestre. Los clareos no deben ser fuertes para evitar el desarrollo del matorral y no comprometer la estabilidad de la masa, especialmente cuando las densidades iniciales sean muy elevadas y la intervención no sea lo suficientemente temprana para que los árboles tengan un coeficiente de esbeltez bajo y relaciones de copa altas. Siempre que los presupuestos lo permitan, los clareos irán acompañados de una poda baja hasta los 2-2,5 m en todos los pies. Esta poda garantiza la calidad de la madera de la troza basal además de favorecer la prevención de incendios y la movilidad en la masa.

Primera clara

La edad de la primera clara depende fundamentalmente de la calidad de estación y de si se ha aplicado un clareo previo o no. En las calidades de estación más

altas la primera clara se realizará entre los 20 y los 30 años, más cerca de los 20 años cuando la densidad inicial sea baja y esta clara sea la primera intervención y a los 30 años cuando se haya realizado ya un clareo. La primera clara se puede retrasar en las calidades intermedias y bajas hasta los 35-40 años, especialmente cuando ya se ha hecho un clareo previo. Excepto cuando los marcos de plantación o siembra son amplios, en las peores estaciones es difícil evitar un clareo, ya que habría que retrasar mucho la primera intervención para obtener dimensiones y volúmenes que permitan comercializar los productos, poniendo en riesgo la estabilidad y el vigor de la masa.

El tipo de clara a realizar dependerá asimismo de la calidad de estación y de la densidad. En general, la primera clara será semisistemática para facilitar el acceso a la masa. Entre calles se propone aplicar una clara por lo bajo, extrayendo los pies dominados e intermedios y puntualmente pies dominantes y codominantes con malos portes. En las mejores calidades de estación donde la repoblación tenga una vocación de producir madera de calidad, se proponen claras de selección de árboles de porvenir. El número de árboles de porvenir a seleccionar en esta primera clara será algo superior al número de pies destinados a llegar a final de turno, entre 300 y 350 pies/ha que se deben acompañar de podas altas (hasta 5 o 6 m) para asegurar la calidad de los productos finales. Los árboles de porvenir se eligen entre los pies dominantes y codominantes más vigorosos y con mejores calidades de fuste. En esta primera clara, además de eliminar aquellos individuos que dificulten el desarrollo de los árboles de porvenir, se deben extraer los pies dominados, ya que su permanencia en la masa puede comprometer la estabilidad de la masa al ser los árboles más susceptibles a sufrir daños bióticos y abióticos.

El peso de la primera clara será fuerte (30-35% del área basimétrica), ya que en edades jóvenes es cuando hay mejor respuesta a la clara, además de asegurar la rentabilidad de la intervención al extraerse más volumen por hectárea (mínimo entre 30-50 m³/ha). En el caso de que no se haya realizado ninguna intervención y la densidad de la masa sea excesiva para esta fase de desarrollo, puede ser aconsejable reducir el peso de la clara con el fin de evitar daños por viento y nieve, ya que los árboles tendrán relaciones altura-diámetro muy elevadas y razones de copa viva reducidas.

Claros sucesivas

Tipo de claras

En el resto de las claras a realizar en repoblaciones de pino silvestre los criterios de selección serán similares a lo comentado para la primera clara entre las calles. En general se proponen claras por lo bajo, que se aproximarán a claras mixtas

a partir de la segunda clara al afectar también a parte del estrato codominante y dominante. En las mejores estaciones y cuando el objetivo sea obtener madera de calidad de grandes dimensiones las claras serán con selección de árboles de porvenir, eliminando los individuos que dificultan el desarrollo de estos pies de porvenir. En aquellas repoblaciones en las que se quiera favorecer la presencia de otras especies, especialmente frondosas, se favorecerá a estos pies en la selección de los árboles a extraer en la clara.



FOTO 12:
Realización de una clara
semisistemática en una
repoblación de pino silvestre.

Rotación de las claras

Nuevamente la elección de la rotación entre claras varía según la calidad de estación, además de la fase de desarrollo de la masa. La dinámica de las masas situadas en buenas calidades de estación es más rápida que en las peores calidades, por lo que la rotación entre claras puede ser más corta. Por otra parte, en edades avanzadas la respuesta a las claras es menor que en edades jóvenes, por lo que la intensidad del régimen de claras será menor en la segunda mitad del turno. Una manera de reducir la intensidad es alargar la rotación de las claras, de modo que el peso de las claras sea siempre de moderado a fuerte, rentabilizando las intervenciones. Considerando las experiencias de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino silvestre, se propone una rotación de 10 años en las mejores calidades de estación y hasta los 50 años, y de 15 años en el resto de casos.

Peso y número de claras

La intensidad del régimen de claras será fuerte en las mejores estaciones, siempre que no exista restricción por motivos de protección del suelo, pudiéndose aplicar claras fuertes (en torno al 30% del área basimétrica) y cada 10 años. Como

se ha comentado, la rotación se puede alargar a 15 años a partir de los 50 años. El número de claras previstas en estas calidades de estación es de cuatro.

En calidades de estación bajas o cuando exista un objetivo prioritario protector el régimen de claras será moderado. Con el fin de rentabilizar al máximo las intervenciones, se proponen claras de moderadas a fuertes (25-30% del área basimétrica) y se alargarán la rotación a 15 años, resultando en tres intervenciones a lo largo del turno.

Turno

La elección del turno en las repoblaciones de pino silvestre viene condicionada en primer lugar por los objetivos principales de la masa, por lo que es difícil definir un turno por calidades de estación sin tener en cuenta las particularidades de la masa. En general, el turno se alargarán en aquellas situaciones donde el objetivo prioritario sea protector o de uso social (suelos, hábitat de fauna, recreo, etc.), mientras que se reducirá cuando el objetivo sea productor. Por otra parte, hay que tener presente que frecuentemente se dispone de mucha superficie repoblada con poca variación de clases de edad, por lo que los sacrificios de cortabilidad se hacen imprescindibles.

Teniendo presente estas consideraciones, en los esquemas selvícolas que se presentan a continuación se proponen unos turnos de referencia. Cuando el objetivo de la repoblación sea productor o bien productor-protector o productor-uso social se plantean turnos de 80 años en las mejores calidades, aumentando hasta 120 años para las peores calidades, si bien en estas últimas no tiene sentido un objetivo productor prevalente. En aquellas repoblaciones de buena calidad de estación y donde la calidad de la madera permita la obtención de madera de chapa, se plantea alargar el turno hasta los 100-120 años con el fin de obtener mayor proporción de madera de chapa y mejorar los beneficios del aprovechamiento.

Tablas de producción

Una vez definidas las características de las intervenciones recomendadas para repoblaciones de pino silvestre, se expone una propuesta selvícola para cada calidad de estación en formato de tabla de producción. La evolución del número de pies con la edad y las propuestas de claras reflejadas en estas tablas están basadas en la información expuesta en los apartados anteriores. En el capítulo de métodos se ofrece más información sobre la construcción de estas tablas de producción. Junto a cada tabla de producción se adjuntan unos comentarios sobre las intervenciones propuestas en la tabla. Tras las tablas de producción se añade la figura 11 que refleja las normas selvícolas propuestas en estas tablas en relación con la recta de máxima densidad de Reineke.

CALIDAD DE ESTACIÓN 12

Esquema selvícola:

- ≈20 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 40 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 55 años: 2ª clara por lo bajo.
- 70 años: 3ª clara por lo bajo.
- Turno: entre 100-120 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
40	9,4	1.500	15,1	26,8	114,6	500	13,4	30,9	1.000	15,9	19,7	83,7
55	13,2	1.000	19,6	30,1	175,8	375	16,6	48,6	625	21,1	21,9	127,2
70	13,9	625	24,7	29,9	182,8	175	22,2	42,3	450	25,6	23,2	140,5
110	15,9	450	31,4	34,8	241,0							

CALIDAD DE ESTACIÓN 15

Esquema selvícola:

- ≈15-20 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 35 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 50 años: 2ª clara por lo bajo.
- 65 años: 3ª clara por lo bajo.
- Turno: entre 100-120 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
35	10,4	1.500	15,7	29,1	136,5	550	14,0	40,4	950	16,6	20,6	96,1
50	15,0	950	21,0	32,8	214,7	375	17,8	62,4	575	22,8	23,4	152,3
65	16,9	575	26,7	32,2	234,8	175	24,0	59,1	400	27,8	24,3	175,7
110	19,9	400	34,4	37,2	315,2							

CALIDAD DE ESTACIÓN 18

Esquema selvícola:

- ≈15 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 30 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles. Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 40 años: 2ª clara por lo bajo.
- 50 años: 3ª clara por lo bajo.
- 65 años: 4ª clara por lo bajo.
- Turno: entre 90-100 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
30	11,0	1.500	16,1	30,5	150,8	500	14,5	41,5	1.000	16,8	22,3	109,2
40	14,8	1.000	20,5	33,0	213,3	350	18,0	59,0	650	21,7	24,1	154,3
50	18,0	650	25,3	32,6	251,3	190	24,0	67,6	460	25,8	24,0	183,7
65	20,3	460	30,4	33,4	287,5	110	29,8	67,4	350	30,6	25,7	220,1
90	22,6	350	35,7	35,0	332,6							

CALIDAD DE ESTACIÓN 21

Esquema selvícola:

- ≈10-15 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 30 años: 1ª clara semisistemática con selección de árboles de porvenir entre calles y poda alta en estos árboles (300-350 pies/ha). Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 40 años: 2ª clara de selección de árboles de porvenir.
- 50 años: 3ª clara de selección de árboles de porvenir.
- 65 años: 4ª clara de selección de árboles de porvenir.
- Turno: entre 80-90 años. Alargar a 100-120 años cuando la calidad de la madera permita obtener madera de chapa

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
30	13,5	1.500	17,7	36,8	220,1	550	15,9	66,7	950	18,6	25,8	153,5
40	17,6	950	22,6	38,1	289,8	350	19,9	84,3	600	24,0	27,2	205,5
50	21,0	600	27,7	36,1	321,3	190	26,3	93,6	410	28,3	25,8	227,7
65	24,9	410	36,0	41,7	433,8	110	35,6	116,4	300	36,1	30,8	317,5
85	26,0	300	43,0	43,6	471,7							

CALIDAD DE ESTACIÓN 24

Esquema selvícola:

- ≈10 años: cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha clareo acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 25 años: 1ª clara semisistemática con selección de árboles de porvenir entre calles y poda alta en estos árboles (300-350 pies/ha). Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 35 años: 2ª clara de selección de árboles de porvenir.
- 45 años: 3ª clara de selección de árboles de porvenir.
- 60 años: 4ª clara de selección de árboles de porvenir.
- Turno: 80 años. Alargar a 100-120 años cuando la calidad de la madera permita obtener madera de chapa.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
25	13,8	1.500	17,8	37,4	228,1	550	16,0	69,1	950	18,8	26,3	159,0
35	18,7	950	23,2	40,2	322,5	350	20,4	93,8	600	24,7	28,8	228,7
45	22,4	600	28,6	38,5	364,1	200	27,2	111,7	400	29,3	26,9	252,4
60	26,6	400	38,9	47,5	526,0	125	38,5	164,3	275	39,1	33,0	361,8
80	30,2	275	50,0	54,0	672,1							

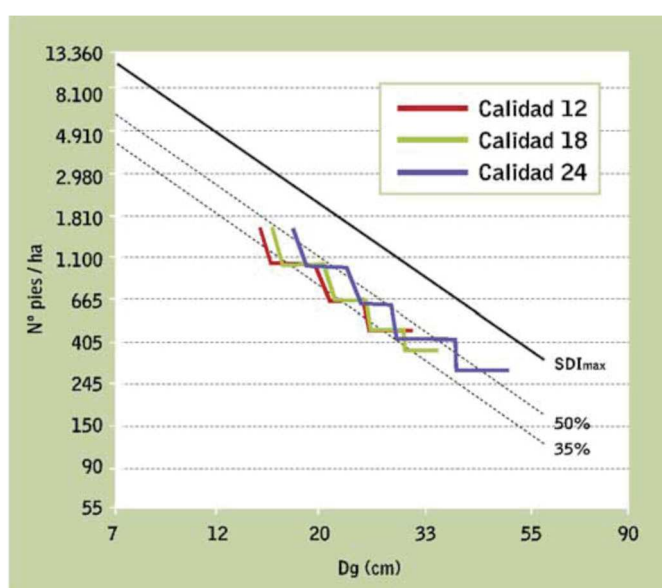


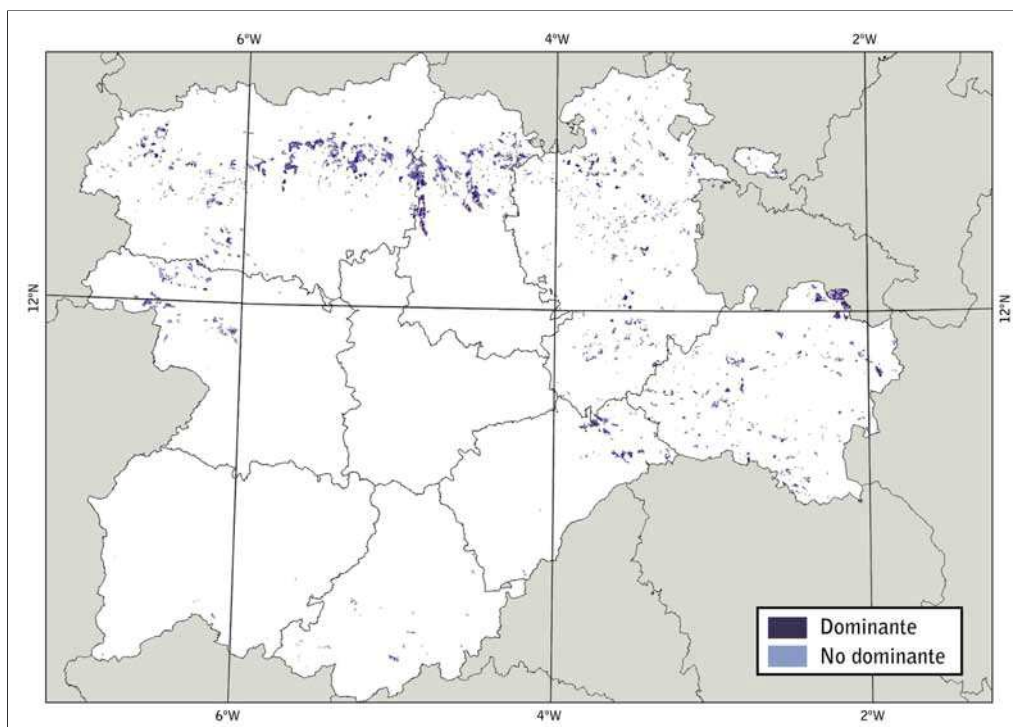
FIGURA 11:
Propuesta selvícola para las calidades de estación 12, 18 y 24 junto con la recta de Reineke de máxima densidad (SDI_{max}) para pino silvestre y rectas del 35 y 50% de esta máxima densidad.

PINUS NIGRA

4.1 Distribución

Las repoblaciones de *Pinus nigra* están presentes en gran parte del territorio de Castilla y León, realizadas sobre diferentes estaciones y con resultados dispares. La superficie de estas repoblaciones se acerca a 80.000 ha, cifra muy superior a la de las masas naturales en esta región (18.500 ha). Por provincias, la mayor superficie de repoblaciones de pino laricio se encuentra en León, con más de 20.000 ha, seguida de Soria con cerca de 17.000 ha y de Burgos y Palencia, con 14.500 ha cada una (mapa 3). Según el Plan Forestal de Castilla y León 2002, se estima que hay unas 17.000 ha situadas sobre suelos calizos poco profundos, margosos o yesosos, con árboles de portes deformes y raquíuticos en las provincias de Burgos y Palencia (con menor representación en Soria, Segovia y Zamora). Como especie secundaria o acompañante aparece en 43.500 ha, fundamentalmente en las provincias de León (18.500 ha) y Palencia (8.500 ha), en mezclas con *Pinus pinaster* y *Pinus sylvestris*.

La silvicultura en las masas artificiales de *Pinus nigra* en la comunidad autónoma de Castilla y León está condicionada por la calidad de las mismas. En aquellas situaciones donde la estación no es buena para la especie y ésta presenta portes raquíuticos, la intervención más razonable será el cambio de especie, intentando favorecer la instalación de frondosas. En las mejores estaciones para la especie, la silvicultura se orienta a la producción de madera de sierra.



MAPA 3:
Distribución de las repoblaciones de *Pinus nigra* en Castilla y León.

FUENTE: D.G.Biodiversidad: Servicio de Material Genético y Banco de Datos de la Biodiversidad; CIFOR-INIA. Basado en la cartografía de los mapas forestales MFE 200 y MFE 50, en las Regiones de Procedencia y en los datos de los Inventarios Forestales Nacionales segundo y tercero.

4.2 Calidad de estación

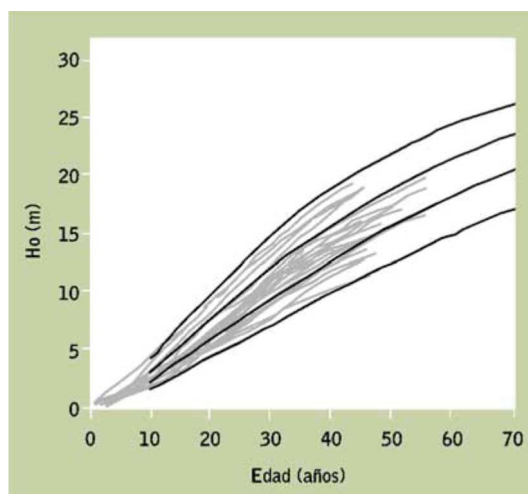
La estimación de la calidad de estación se realiza mediante un modelo de crecimiento en altura dominante, ajustado a partir de datos altura dominante-edad obtenidos de 40 análisis de tronco realizados en repoblaciones de pino laricio (anexo 2). La mayor edad encontrada en esta muestra ha sido 55 años, aunque sólo en las calidades intermedias. En la siguiente figura se presentan los datos de los análisis de tronco realizados y las curvas de calidad de estación de pino laricio obtenidas en el ajuste (figura 12).

De las diferentes funciones de crecimiento probadas (anexo 2), la que mejor se ha ajustado a los datos de *Pinus nigra* ha sido el modelo polimórfico de Richards, cuya expresión ya ajustada es la siguiente:

$$H_{0_2}=29,7954 \cdot \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{H_{0_1}}{29,7954} \right)^{\frac{1}{1,5162}} \right]^{\frac{T_2}{T_1}} \right\}^{1,5162}$$

siendo Ho_1 y Ho_2 las alturas dominantes en m a las edades T_1 y T_2 en años. Este modelo se caracteriza por presentar curvas polimórficas pero con asíntota común igual a 29,8 m. No obstante conviene recordar que este es un modelo con carácter provisional, sólo válido para edades inferiores a los 60-70 años debido a la falta de disponibilidad de datos de edades avanzadas para su construcción, por lo que se debe considerar con especial cuidado toda extrapolación del mismo.

FIGURA 12
Datos de los análisis de tronco
y curvas de calidad de estación.



Este tipo de modelos de calidad de estación se caracterizan por su reversibilidad, pudiendo usarse para determinar el índice de sitio y así fijar la calidad de estación de la masa, o para conocer la evolución de la altura del árbol con la edad, con cualquier par de valores, Ho_i , T_i .

Como la mayor edad muestreada no supera los 60 años, y es difícil encontrar repoblaciones con edades mayores, se ha tomado como edad de referencia los 50 años. Se han fijado cuatro calidades de estación correspondientes a los índices de sitio de 12, 15, 18 y 21 m a la edad índice de 50 años. En la figura 13 se representan las curvas de calidad de estación y las curvas que marcan los límites entre calidades de estación. Los valores de estas curvas cada diez años se presentan en la tabla 7.

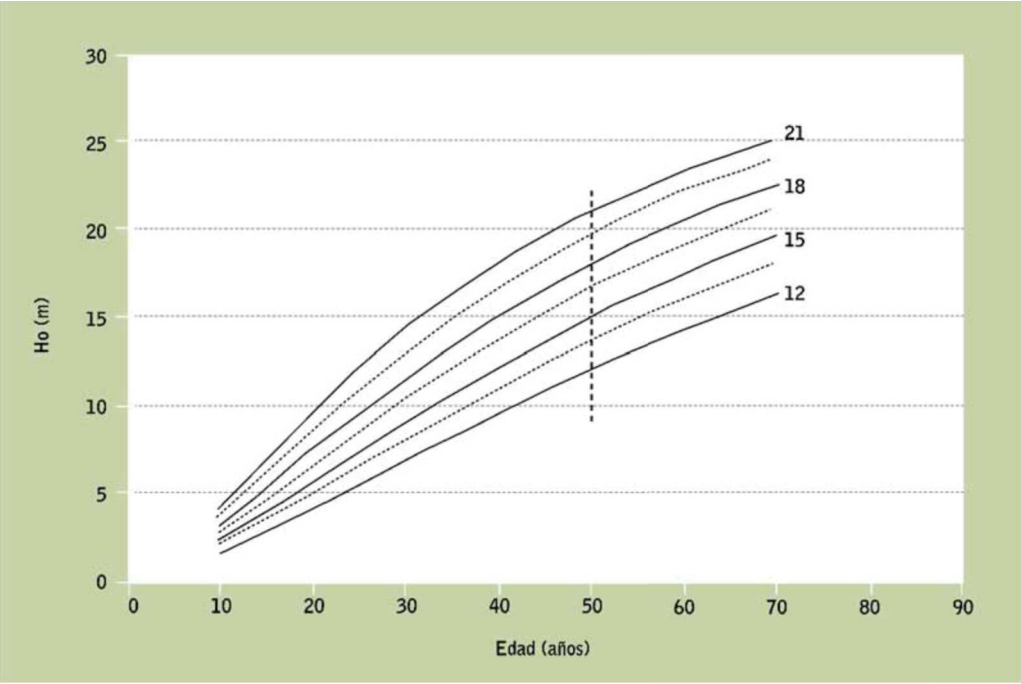


FIGURA 13:
Curvas de calidad de estación para repoblaciones de *Pinus nigra* en Castilla y León. Índices de sitio 12, 15, 18 y 21 a los 50 años. Las líneas a trazos representan los límites entre calidades.

Edad (años)	IS 12	Límite 12-15	IS 15	Límite 15-18	IS 18	Límite 18-21	IS 21
10	1,6	1,9	2,3	2,6	3,1	3,6	4,1
15	2,9	3,4	3,9	4,5	5,2	5,9	6,8
20	4,2	4,9	5,6	6,4	7,3	8,3	9,4
25	5,5	6,4	7,3	8,3	9,4	10,6	11,9
30	6,9	7,9	9,0	10,2	11,4	12,7	14,2
35	8,2	9,4	10,6	11,9	13,3	14,7	16,2
40	9,5	10,8	12,2	13,6	15,0	16,5	18,0
45	10,8	12,2	13,6	15,1	16,6	18,1	19,6
50	12,0	13,5	15,0	16,5	18,0	19,5	21,0
60	14,3	15,9	17,5	19,0	20,5	21,9	23,3
70	16,3	17,9	19,5	21,0	22,4	23,8	25,0

TABLA 7:
Evolución de la altura dominante en m según las curvas de calidad de estación y límites entre calidades.

4.3 Guías de densidad observada

Con los datos de las parcelas temporales muestreadas en zonas donde se consideró que la espesura era adecuada (anexo 1), se han ajustado las relaciones fundamentales habituales necesarias para construir tablas de producción de selvicultura observada, con el fin de reflejar la selvicultura muestreada a través de unas guías de densidad observada. Estas masas seleccionadas para el muestreo son masas sometidas a algún tratamiento previo, generalmente una o dos claras. Las mencionadas relaciones fundamentales ajustadas a los datos de las parcelas muestreadas son las siguientes:

- 1ª relación fundamental: ver modelo de calidad de estación
- 2ª relación fundamental: $\ln(N) = 9,47848 - 1,05677 \cdot \ln(Ho)$
 $R^2 = 0,3975$
- 3ª relación fundamental: $Dg = 1,11728 \cdot \left(\frac{100}{\sqrt{N}}\right) + 1,29117 \cdot Ho$
 $R^2 = 0,8289$
- 4ª relación fundamental: $\ln(V) = -0,502695 + 1,00797 \cdot \ln(G) + 0,862933 \cdot \ln(Ho)$
 $R^2 = 0,9937$
- 5ª relación fundamental: $Hm = 0,1456 + 0,9626 \cdot (Ho)$
 $R^2 = 0,9937$

donde N es el número de pies por hectárea, Ho la altura dominante en m, Dg el diámetro medio cuadrático en cm, V el volumen en m^3/ha , G el área basimétrica en m^2/ha y Hm la altura media en m.

Con estas relaciones fundamentales se elaboran las guías de densidad observada por calidad de estación (tabla 8), en las que se describe el estado de la masa desde los 20 a los 60 años, ya que no se han inventariado masas fuera de este intervalo. A diferencia de las tablas de producción, la disminución del número de pies entre edades no refleja tratamientos selvícolas aplicados, sino una estimación de la evolución de la masa para cada calidad de estación, establecida por la segunda relación fundamental. En la figura 14 se representa la 2ª relación, junto a los datos de las parcelas muestreadas.

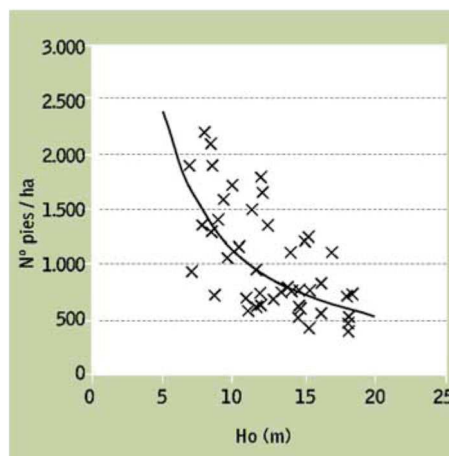


FIGURA 14:
Norma de densidad observada junto con los
datos de las parcelas muestreadas.

TABLA 8:
Guías de densidad observada por calidades de estación. Para aquellos rangos de edades y calidades de estación en los que no se dispone de datos se presentan los valores estimados en gris o blanco.

Calidad de estación 12						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m²/ha)	V (m³/ha)
20	4,2	2.902	4,1	7,4	12,6	15,6
30	6,9	1.707	6,8	11,6	17,9	37,6
40	9,5	1.209	9,3	15,5	22,8	67,0
50	12,0	946	11,7	19,1	27,2	101,1
60	14,3	788	13,9	22,4	31,1	137,7

Calidad de estación 15						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m²/ha)	V (m³/ha)
20	5,6	2.113	5,5	9,7	15,5	26,4
30	9,0	1.280	8,8	14,8	21,9	60,9
40	12,2	931	11,9	19,4	27,5	103,9
50	15,0	747	14,6	23,5	32,3	150,6
60	17,4	637	16,9	27,0	36,4	197,3

Calidad de estación 18						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m²/ha)	V (m³/ha)
20	7,3	1.593	7,2	12,3	18,8	42,2
30	11,4	997	11,1	18,3	26,2	92,6
40	15,0	747	14,6	23,5	32,3	150,6
50	18,0	616	17,5	27,7	37,3	208,7
60	20,5	539	19,8	31,2	41,2	262,6

Calidad de estación 21						
EDAD (años)	Ho (m)	N	Hg (m)	Dg (cm)	G (m²/ha)	V (m³/ha)
20	9,4	1.220	9,2	15,4	22,7	66,0
30	14,2	794	13,8	22,3	30,9	135,9
40	18,0	616	17,5	27,8	37,3	208,9
50	21,0	524	20,4	32,0	42,1	275,3
60	23,3	470	22,6	35,2	45,7	331,3



FOTO 13:
Parcela instalada en una repoblación de *Pinus nigra*.

Como puede observarse en las guías de densidad observada, las masas de laricio presentan un área basimétrica a los 50 años comprendida entre 27,2 m²/ha para la calidad inferior y 42,1 m²/ha en la superior, con unos diámetros medios de 19,1 cm y 32,0 cm respectivamente. Comparando con otros autores, en las tablas de producción para masas naturales del Sistema Ibérico para esta misma edad y con un régimen de claras moderado se obtienen diámetros comprendidos entre 10,5 y 22,5 cm para calidades correspondientes a índices de sitio de 10 y 18 m a los 50 años, con unas áreas basimétricas de 28,5 a 47,5 m²/ha respectivamente (Gómez Loranca, 1996). Con un régimen de claras fuerte estos diámetros se incrementan a 15,0 y 23,9 cm para índices de sitio de 12 y 18 m a los 50 años, o en términos de área basimétrica, de 35,1 a 45,1 m²/ha respectivamente. Según estos datos, en las guías de densidad observadas las espesuras son menores que en el régimen de claras fuertes de las tablas de producción de masas naturales, obteniéndose mayores diámetros medios cuadráticos.

4.4 Densidad propuesta

Para la gestión de las masas es de gran utilidad disponer de una herramienta que relacione el número de pies con alguna variable de la masa que sea fácil de medir, generalmente el diámetro medio cuadrático o la altura dominante. Una forma de abordar el estudio de la espesura de la masa es a través del índice de densidad de Reineke, que relaciona el número de pies con el diámetro cuadrático, y de su relación con la máxima densidad encontrada para la especie.

Para determinar el valor máximo del índice de densidad de Reineke para una especie es preciso disponer de parcelas no intervenidas que presenten densidades elevadas. A partir de las parcelas de máxima densidad muestreadas (anexo 3) y asumiendo el valor propuesto por Reineke para la pendiente de la recta de máxima densidad (-1,605), se ha obtenido la siguiente ecuación:

$$\ln(N)=12,5572-1,605\cdot\ln(Dg) \quad \rightarrow \quad SDI_{max}=1.621$$

donde N es el número de pies por hectárea, Dg el diámetro medio cuadrático en cm y SDI_{max} el índice de densidad de Reineke correspondiente a la máxima densidad, cuyo valor es 1.621.

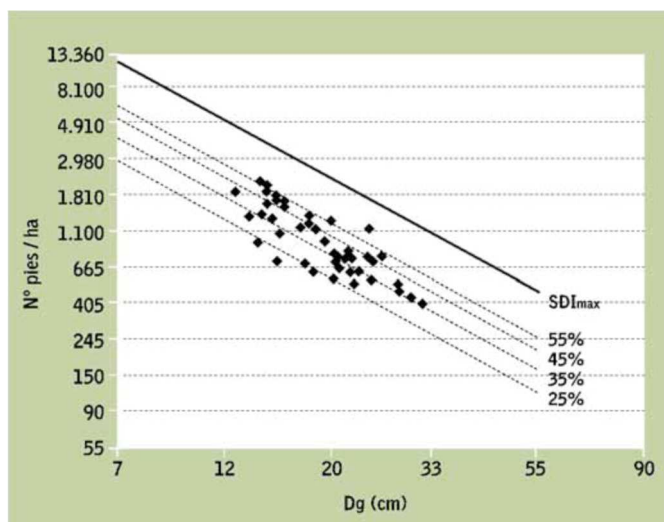


FIGURA 15:
Recta de Reineke de máxima densidad (SDImax) para pino laricio y rectas del 25, 35, 45 y 55% de esta máxima densidad junto a los datos de las parcelas medidas en repoblaciones en Castilla y León.

En la figura 15 se representan los datos de las parcelas muestradas cuya densidad se consideró adecuada (parcelas utilizadas en las guías de densidad observada, anexo 1), con las rectas de máxima densidad de Reineke encontrada para pino laricio y las rectas del 25, 35, 45 y 60% del SDImax. Según Long (1985), una masa forestal con un rango óptimo de densidad se ubicaría entre el 35 y el 60% del SDImax. En este caso, y como se puede observar en la figura, parte de las parcelas muestradas se sitúan por debajo del límite inferior de Long, entre el 25 y el 35%. Por lo tanto, las masas muestradas reflejan espesuras bajas, con unas densidades variables comprendidas entre el 25% (SDI= 405) y el 55% (SDI= 892). En la red de parcelas de claras del CIFOR-INIA existe un ensayo de claras en una repoblación de *Pinus nigra*, pero debido a la baja densidad inicial y a que solo se ha aplicado la primera clara, no aportan suficiente información para discutir el rango de densidad óptimo para este tipo de masas. En la tabla 9 se presenta la evolución del número de pies y del área basimétrica según aumenta el diámetro medio cuadrático para las densidades del 55, 35 y 25% de la máxima densidad.

TABLA 9:

Evolución del número de pies por hectárea y área basimétrica con el diámetro medio cuadrático para las densidades del 55, 35 y 25% del máximo índice de densidad de Reineke (SDI_{max}).

Dg (cm)	55% SDI_{max}		35% SDI_{max}		25% SDI_{max}	
	Nº pies/ha	G (m ² /ha)	Nº pies/ha	G (m ² /ha)	Nº pies/ha	G (m ² /ha)
15	2.024	35,8	1.288	22,8	920	16,3
20	1.276	40,1	812	25,5	580	18,2
25	892	43,8	567	27,9	405	19,9
30	665	47,0	423	29,9	302	21,4
35	520	50,0	331	31,8	236	22,7
40	419	52,7	267	33,5	191	24,0

FOTO 14:
Repoblación de *Pinus nigra*
con densidad alta.



4.5 Propuesta selvícola y Tablas de producción

En función del rango de densidades establecido anteriormente, y mediante el uso de algunas relaciones fundamentales de las guías de densidad observada se elaboran las tablas de producción que recogen, para cada calidad de estación, las diferentes propuestas. En las mejores calidades se propone aplicar una serie de tratamientos que, preservando la masa y sus funciones, aseguren la obtención de productos de calidad al final del turno. En las peores calidades el principal objetivo a conseguir con la gestión, es el mantenimiento de la masa en el tiempo y en sus funciones. Las distintas intervenciones y tratamientos recomendados se describen a continuación.

Clareos

Los clareos son una herramienta selvícola de gran importancia en las masas procedentes de repoblación cuya densidad inicial sea elevada, ya que esta intervención tiene como objetivos evitar el estancamiento de las masas, por tanto mejorar el estado vegetativo de las mismas, y mejorar la producción. En función de la calidad de estación y las disponibilidades presupuestarias, se realizarán entre los 10 y los 25 años, dejando una densidad tras la intervención inferior o igual a los 1.500 pies/ha. En las masas con densidades iniciales bajas (menor o igual 1.500 pies/ha) se puede prescindir de esta primera intervención y esperar hasta que los productos a extraer sean comercializables y realizar entonces una primera clara.

El criterio de selección al aplicar el clareo será negativo, eliminando los individuos malformados (curvaturas, ahorquillados, etc.), moribundos, así como árboles dominantes o codominantes que presenten una ramosidad excesiva. Los clareos no deben ser fuertes para no comprometer la estabilidad de la masa, sobre todo cuando las densidades iniciales sean muy elevadas y cuando haya riesgo de desarrollo del matorral. Siempre que el presupuesto lo permita, se realizará junto a los clareos una poda baja o de penetración hasta los 2-2,5 m en todos los pies, para garantizar la calidad de la troza basal además de la movilidad en la masa y de reducir el riesgo de incendios con la ruptura de la continuidad vertical.

Primera clara

La edad en que se realice la primera clara dependerá, fundamentalmente, de la calidad de estación y de la aplicación o no de un clareo previo. En las calidades de estación altas la primera clara se realizará entre los 20 y los 30 años, tanto más cerca de los 20 años cuando la densidad inicial sea baja y además esta clara sea la primera intervención, y más próxima a los 30 años cuando se haya realizado ya un clareo previo. Las plantaciones con densidades menores a 1500 pies/ha son poco frecuentes, por lo que lo habitual será que exista un clareo previo a la clara, retrasando en las calida-

des más bajas la primera clara hasta los 35-45 años. Además, en las peores estaciones es difícil evitar un clareo pues habría que retrasar mucho la primera clara hasta obtener dimensiones y volúmenes que permitan comercializar los productos, poniendo en riesgo la estabilidad y el vigor de la masa. Este problema se agudiza en las repoblaciones en terrazas ya que los costes de la primera intervención difícilmente se acercarán a los posibles beneficios, por lo que se recomienda retrasar la primera intervención hasta que la masa genere algo de valor, en un compromiso entre reducir los costes y asegurar la continuidad de la masa.

En las mejores calidades de estación donde la repoblación tenga una clara vocación para producir madera de calidad, se pueden aplicar claras de selección de árboles de porvenir acompañadas de podas altas hasta los 5,5-6 m de altura en los 300-400 mejores pies por hectárea. Los árboles de porvenir se eligen entre los pies dominantes y codominantes más vigorosos y con mejores calidades de fuste.

La primera clara será moderada-fuerte con un peso en área basimétrica del 30%, ya que es en las edades jóvenes cuando hay mejor respuesta a la clara, además de asegurar la rentabilidad de la intervención al extraerse más volumen por hectárea (mínimo entre 30-50 m³/ha). Si no se ha realizado ninguna intervención, la densidad de la masa será probablemente excesiva para esta fase de desarrollo, aconsejándose reducir el peso de la clara con el fin de evitar daños por viento, ya que las relaciones altura-diámetro serán muy elevadas y las razones de copa reducidas, especialmente en las calidades de estación altas.

FOTO 15:
Parcela instalada en una
repoblación ya aclarada y podada
de *Pinus nigra*.



Claros sucesivas

Tipo de claras

Se proponen claras por lo bajo en el resto de claras a aplicar, excepto cuando se sobrepasen los 50 años, pues en ese momento se empezará a eliminar parte del estrato codominante, pasando entonces a ser claras mixtas. Para las calidades de estación altas, con objetivo productor, las claras se aplicarán con selección de árboles de porvenir, eliminando sucesivamente los árboles que impidan el correcto desarrollo de estos pies de porvenir.

Rotación de las claras

La rotación entre claras se establece en función de la calidad de estación y del estado de desarrollo de la masa. Así, se tendrá en cuenta que el desarrollo de las masas situadas en buenas calidades de estación es más rápido que en las peores calidades, por lo que el período entre claras sucesivas puede ser más corto, además de que cuanto más edad tiene una masa, peor responde a las claras, por lo que la intensidad del régimen de claras será menor. Se propone entonces una rotación de 10 años en las mejores calidades de estación hasta los 45-50 años, y de 15 años a partir de esa edad y en el resto de calidades, como una posibilidad a la hora de reducir la intensidad de las claras, es decir, alargar el período entre claras, de forma que el peso de las claras sea siempre de moderado o moderado-fuerte, con el objetivo de hacer las intervenciones más rentables.

Peso y número de claras

El régimen de claras a aplicar será moderado-fuerte en las mejores estaciones, siempre que no existan restricciones por motivos de protección del suelo, aplicando las claras (en torno al 30% del área basimétrica) cada 10 años. Como se ha dicho anteriormente, la rotación se alargaría a 15 años a partir de los 45-50 años de edad. El número de claras previstos en estas calidades de estación es de cuatro. En calidades de estación bajas o cuando exista un objetivo claramente protector, el régimen de claras aplicado será moderado. Con el fin de rentabilizar al máximo las intervenciones, se aplicarán claras moderadas (25-30% del área basimétrica) alargando la rotación a 15 años, ejecutando tres intervenciones a lo largo del turno.

Turno

No es posible la elección de un turno para cada calidad de estación sin considerar las particularidades de la masa y los objetivos que persigue su gestión. De forma general, el turno será mayor en las masas cuyo principal objetivo sea el uso social o

recreativo y el protector, mientras que será más reducido cuando lo que se pretenda es la producción.

Si consideramos que la masa tiene objetivo productor, bien de forma exclusiva, o en combinación con otros usos (productor-protector ó productor-uso social), los turnos considerados serán de 60-80 años en las mejores calidades llegando a los 80-90 años en las peores, pues generalmente en estas calidades el objetivo productor no será el más importante, dándose las combinaciones comentadas. En las peores calidades, hay que considerar la posibilidad de un cambio de especie, por lo que a lo mejor no tienen sentido turnos tan largos, pudiendo rebajarse entonces a 60-80 años. No hay que perder de vista la integración paisajística con las frondosas, en aquellas zonas donde la competencia favorezca a estas últimas, debiendo manejar turnos acordes a los nuevos objetivos planteados. No obstante los turnos variarán adaptándose a las necesidades de gestión, además de para adoptar los sacrificios de cortabilidad debidos, sobre todo, a la coetaneidad de las masas y su ausencia de ordenación.

Tablas de producción

Tras explicar las intervenciones propuestas en las repoblaciones de pino laricio, se expone a continuación una propuesta selvícola mediante tablas de producción para cada calidad de estación. La información expuesta en los apartados anteriores sirve de base para calcular la evolución del número de pies con la edad y para fijar las claras propuestas. En el capítulo de métodos se ofrece más información sobre la construcción de estas tablas de producción. Además de cada tabla de producción se proporcionan unos comentarios sobre las intervenciones reflejadas en las tablas y una figura en la que se presentan las normas selvícolas propuestas en estas tablas junto con la recta de máxima densidad de Reineke para *Pinus nigra* y las rectas correspondientes al 25 y 55% de la máxima densidad (figura 16).

CALIDAD DE ESTACIÓN 12

Esquema selvícola:

- ≈20 años: clareo selectivo con criterio de selección negativo cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 45 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles.
Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 60 años: 2ª clara por lo bajo.
- 75 años: 3ª clara por lo bajo.
- Turno: 80-90 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
45	10,78	1.500	16,8	33,3	161,1	500	15,0	42,8	1.000	17,7	24,5	118,3
60	14,27	1.000	22,0	37,9	233,7	350	19,1	62,3	650	23,3	27,8	171,3
75	17,24	650	26,6	36,2	263,1	225	22,6	66,3	425	28,5	27,2	196,9
85	18,94	425	29,9	29,8	234,2							

CALIDAD DE ESTACIÓN 15

Esquema selvícola:

- ≈15-20 años: clareo selectivo con criterio de selección negativo cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 40 años: 1ª clara semisistemática con clara baja entre calles.
Cuando no se haya realizado clareo, poda baja en todos los pies.
- 55 años: 2ª clara por lo bajo.
- 70 años: 3ª clara por lo bajo.
- Turno: 80-90 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
40	12,18	1.500	18,6	40,8	220,0	550	16,6	64,3	950	19,7	29,0	155,6
55	16,27	950	24,6	45,3	313,3	350	21,4	88,0	600	26,3	32,6	225,4
70	19,54	600	29,8	41,8	338,6	200	25,3	82,1	400	31,8	31,7	256,5
80	21,30	400	33,1	34,4	299,8							

CALIDAD DE ESTACIÓN 18

Esquema selvícola:

- ≈10-15 años: clareo selectivo con criterio de selección negativo cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 30 años: 1ª clara semisistemática con selección de árboles de porvenir entre calles. Poda hasta 5,5-6m de los 300-400 mejores pies/ha.
- 40 años: 2ª clara con selección de árboles de porvenir.
- 50 años: 3ª clara con selección de árboles de porvenir.
- 65 años: 4ª clara con selección de árboles de porvenir.
- Turno: 60-80 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
30	11,42	1.500	17,6	36,6	186,5	550	15,9	55,8	950	18,6	25,7	130,7
40	15,00	950	23,0	39,4	254,2	350	20,2	73,0	600	24,5	28,2	181,2
50	18,00	600	27,8	36,4	274,6	150	26,4	62,4	450	28,3	28,2	212,2
65	21,50	450	33,0	38,6	339,0	100	32,4	72,9	350	33,2	30,3	266,1
80	24,02	350	37,0	37,6	363,6							

CALIDAD DE ESTACIÓN 21

Esquema selvícola:

- ≈10-15 años: clareo selectivo con criterio de selección negativo cuando la densidad inicial sea superior a 1.500 pies/ha, acompañado de podas bajas en todos los pies.
- 25 años: 1ª clara semisistemática con selección de árboles de porvenir entre calles. Poda hasta 5,5-6m de los 300-400 mejores pies/ha.
- 35 años: 2ª clara con selección de árboles de porvenir.
- 45 años: 3ª clara con selección de árboles de porvenir.
- 60 años: 4ª clara con selección de árboles de porvenir.
- Turno: 60-80 años.

Edad años	Ho m	Masa principal antes de la clara				Masa extraída			Masa principal después de la clara			
		N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	V m ³ /ha	N pies/ha	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha
25	11,91	1.500	18,3	39,3	207,4	550	16,4	62,0	950	19,2	27,6	145,4
35	16,20	950	24,5	44,9	309,9	350	21,6	89,0	600	26,1	32,1	220,9
45	19,60	600	29,9	42,0	341,6	185	28,4	95,7	415	30,5	30,3	245,9
60	23,28	415	35,5	41,2	387,9	115	35,2	106,1	300	35,7	30,0	281,9
70	24,99	300	38,7	35,3	353,3							

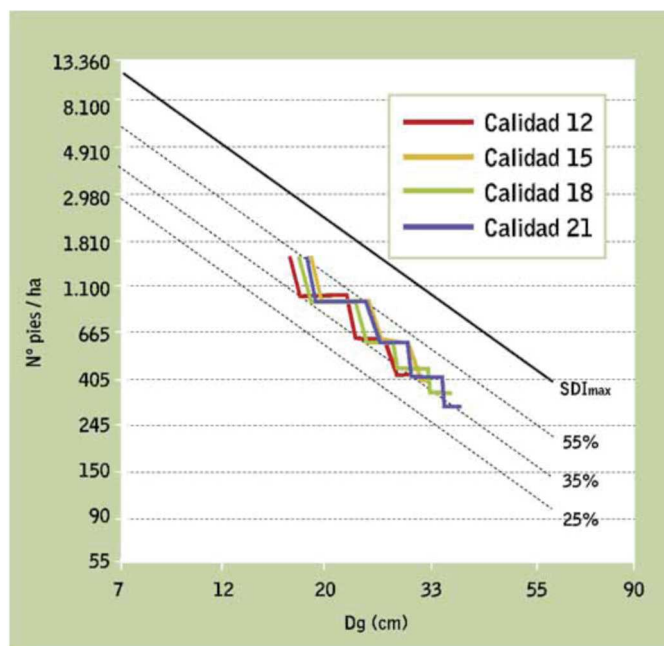


FIGURA 16:
Propuesta selvícola para las calidades de estación 12, 15, 18 y 21 junto con la recta de Reineke de máxima densidad (SDI_{max}) para pino laricio y rectas del 35 y 55% de esta máxima densidad.

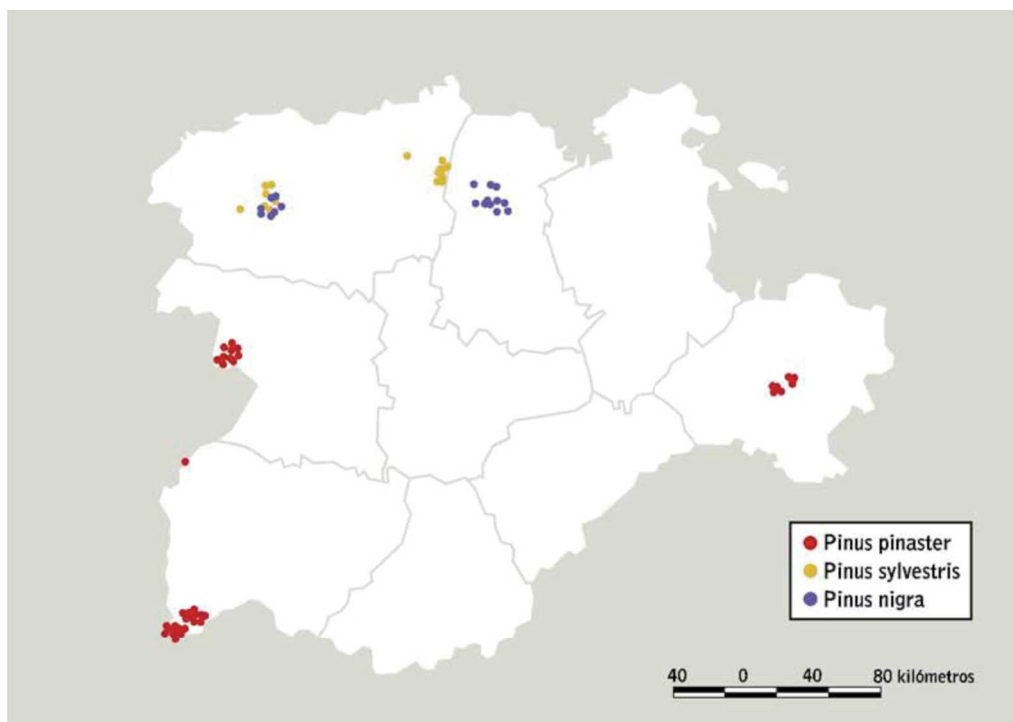
ANEXOS

ANEXO 1: PARCELAS TEMPORALES

1.1. Distribución de las parcelas

Los datos para la elaboración de este manual de gestión para repoblaciones han sido tomados en un total de 134 parcelas, 70 en León, 21 en Palencia, 21 en Salamanca, 6 en Soria y 16 en Zamora.

Distribución por provincias de las parcelas temporales						
Especie	León	Palencia	Salamanca	Soria	Zamora	TOTAL
<i>Pinus pinaster</i>			21	6	18	45
<i>Pinus sylvestris</i>	41					41
<i>Pinus nigra</i>	23	21				44
TOTAL	64	21	21	6	18	130



Distribución de las parcelas muestradas en repoblaciones de *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*.

El criterio para la selección de las masas donde instalar las parcelas fue buscar zonas en las que ya se hubiesen hecho claras y donde se considerase que la espesura era adecuada para la fase de desarrollo del pinar. Además se distribuyeron las parcelas en repoblaciones con distintas edades y calidades de estación (se fijaron cuatro calidades previas por especie utilizando curvas de calidad de estación para masas naturales), aunque no fue posible encontrar todas las combinaciones edad-calidad. A continuación se presenta la distribución de las parcelas por edades y calidades de estación:

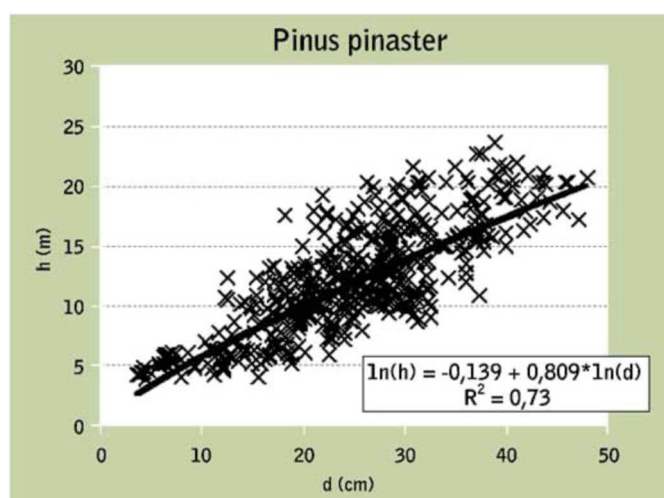
Distribución de las parcelas por edades y calidades de estación previas para cada especie							
		Clases de edad					
		< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	TOTAL
P. pinaster	C-I	3	2	3	3	3	14
	C-II	3	4	3	3	3	16
	C-III	3		6	3	3	15
	C-IV						
	Subtotal	9	6	12	9	9	45
P. sylvestris	C-I			1	3	3	7
	C-II			3	3	3	9
	C-III		3	3	3	3	12
	C-IV	1	3	3	4	2	13
	Subtotal	1	6	10	13	11	41
P. nigra	C-I		3	3	3		9
	C-II		3	3	4	2	12
	C-III		3	3	4	4	14
	C-IV		3	3	3		9
	Subtotal		12	12	14	6	44
TOTAL		10	24	34	36	26	130

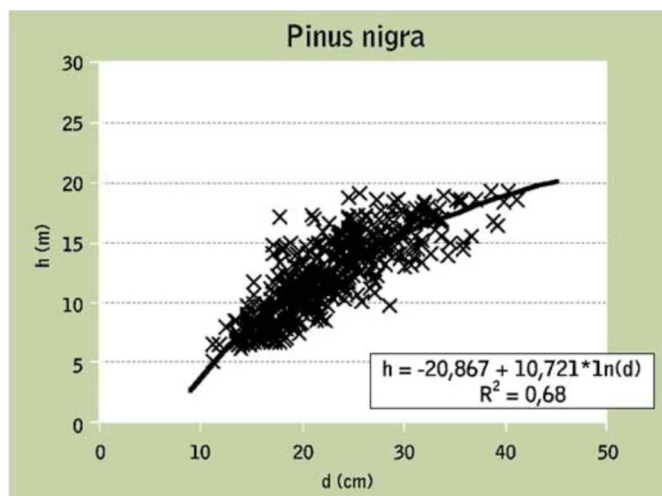
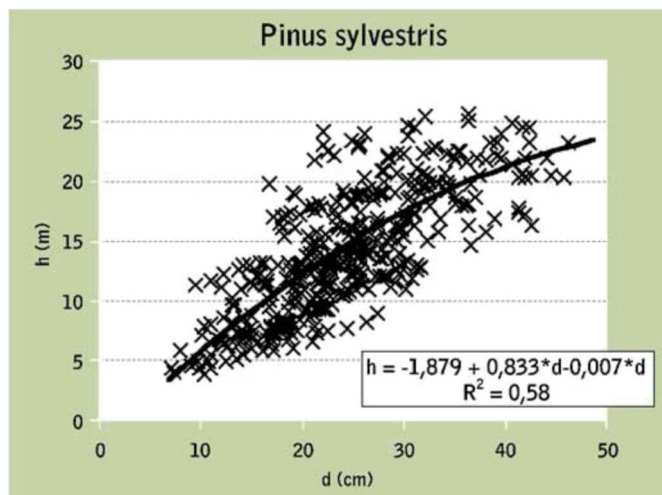
1.2. Instalación y mediciones

Las parcelas temporales son circulares de radio 12,6 m con una superficie de 500 m². En cada parcela se midieron dos diámetros normales perpendiculares con precisión de mm en la totalidad de los árboles y se midieron además 10 árboles tipo, los cinco árboles más próximos al centro para estimar la altura media y los cinco más gruesos para estimar la altura dominante. Las variables medidas en estos árboles tipo son: altura total, de copa y de máxima anchura de la copa con precisión de dm, dos diámetros de copa con precisión de dm, espesor de corteza en mm y posición sociológica.

1.3. Elaboración de datos

Una vez tomados los datos de campo, se calcularon las principales variables de masa para cada parcela. Para ello, debido a que las alturas se midieron en una muestra de 10 árboles por parcela, se ajustó un modelo altura-diámetro por parcela con el fin de estimar las alturas del resto de los árboles. En las siguientes figuras se presentan los datos de altura-diámetro de cada especie junto con un modelo que refleja la tendencia media de esta relación.





El volumen de cada árbol se estimó a partir del diámetro normal y la altura total con las ecuaciones de cubicación que propone el Segundo Inventario Forestal Nacional para cada una de las tres especies en las provincias donde se ha muestreado.

Ecuaciones de cubicación propuestas por el Segundo Inventario Forestal Nacional para las tres especies en Castilla y León (ICONA, 1994).

Especie	Provincia	Forma de cubicación	Ecuación de cubicación
<i>P. pinaster</i>	Salamanca	2-5	$V_{cc} = 0,0005432 \cdot d^{0,01237} \cdot h^{0,79826}$
<i>P. pinaster</i>	Soria	1-2	$V_{cc} = 0,0003518 \cdot d^{0,09002} \cdot h^{0,80177}$
<i>P. pinaster</i>	Soria	3	$V_{cc} = 0,0004162 \cdot d^{0,22300} \cdot h^{0,27746}$
<i>P. pinaster</i>	Zamora	2	$V_{cc} = 0,0004393 \cdot d^{0,03509} \cdot h^{0,83343}$
<i>P. pinaster</i>	Zamora	3	$V_{cc} = 0,0003319 \cdot d^{0,27876} \cdot h^{0,24219}$
<i>P. sylvestris</i>	León	1-2-5	$V_{cc} = 0,0005984 \cdot d^{0,935550} \cdot h^{0,93386}$
<i>P. nigra</i>	León	2-5	$V_{cc} = 0,0006183 \cdot d^{0,94488} \cdot h^{0,90751}$
<i>P. nigra</i>	León	3	$V_{cc} = 0,0000888 \cdot d^{0,52081} \cdot h^{0,32484}$
<i>P. nigra</i>	Palencia	1-2-5	$V_{cc} = 0,0006612 \cdot d^{0,95998} \cdot h^{0,84314}$
<i>P. nigra</i>	Palencia	3	$V_{cc} = 0,0002205 \cdot d^{0,31196} \cdot h^{0,36741}$

Vcc: Volumen con corteza en dm³; d: Diámetro normal en mm; h: Altura total en m.

Formas de cubicación: 1-árboles fusiformes, con troncos maderables derechos de más de 6 m y flecha inferior al 1% de su longitud y de veta no torcida; 2- árboles que cumplan las cuatro condiciones siguientes: ser fusiformes, tener troncos maderables de 4 o más m, ramificarse por la parte superior y no pertenecer a la forma 1; 3- árboles fusiformes pequeños, en los que el diámetro de fuste de 75 mm queda por debajo de los 4 m; 5- árboles cuyo tronco principal es tortuoso, está dañado o es muy ramoso, por lo que no admiten la clasificación en formas 1,2 o 3, también pies de altura de fuste menor de 4 m.

A partir de los datos de árbol individual se calcularon las siguientes variables de masa por hectárea para cada parcela: número de pies (N/ha), altura dominante (m), altura media (m), diámetro medio cuadrático (cm), diámetro medio (cm), área basimétrica (m²/ha), volumen (m³/ha), índice de densidad de Reineke (SDI) e índice de Hart (IH%), según las siguientes expresiones:

$$SDI = N \cdot \left(\frac{25}{Dg} \right)^{-\beta} \quad IH\% = \frac{10000}{Ho \cdot \sqrt{N}}$$

donde N es el número de pies por hectárea, Dg el diámetro medio cuadrático en cm, β es un parámetro a ajustar por especie, para el cual Reineke propone un valor común igual a 1,605, y Ho la altura dominante en m.

1.4. Datos por hectárea

A continuación se describen los datos por hectárea de las parcelas muestreadas por especie:

Características dasométricas medias de las parcelas de <i>Pinus pinaster</i> muestreadas									
	Edad	N pies/ha	Ho m	Hm m	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	SDI	IH %
Media	36	782	12,6	11,9	23,9	28,5	164,9	586,1	33,2
Desv. est.	13,4	445,7	4,4	4,4	9,0	10,6	99,6	151,7	8,2
Máximo	56	2.200	22,2	21,0	44,5	56,1	449,0	909,9	56,0
Mínimo	14	340	5,2	4,6	9,4	8,2	18,6	244,4	18,8

Características dasométricas medias de las parcelas de <i>Pinus sylvestris</i> muestreadas									
	Edad	N pies/ha	Ho m	Hm m	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	SDI	IH %
Media	41	838	14,5	13,8	22,0	28,3	190,4	591,9	27,5
Desv. est.	10,8	375,7	5,1	5,1	6,3	8,6	108,6	147,8	7,1
Máximo	55	1.900	24,0	23,4	34,7	50,5	442,9	960,9	48,1
Mínimo	17	400	4,9	4,9	9,5	12,8	31,8	307,2	16,7

Características dasométricas medias de las parcelas de <i>Pinus nigra</i> muestreadas									
	Edad	N pies/ha	Ho m	Hm m	Dg cm	G m ² /ha	V m ³ /ha	SDI	IH %
Media	39	1039	12,6	12,2	20,0	29,0	163,3	650,2	27,6
Desv. est.	9,4	486,4	3,3	3,2	4,6	7,5	66,1	165,0	6,3
Máximo	55	2.200	18,2	17,5	31,4	52,5	378,4	1079,4	46,7
Mínimo	25	400	6,8	6,6	13,0	14,2	53,1	346,2	17,8

ANEXO 2: CURVAS DE CALIDAD DE ESTACIÓN

2.1. Análisis de tronco

En aquellas parcelas temporales con edades superiores a 40 años, se realizaron análisis de tronco de dos árboles dominantes. En total se dispone de 134 análisis de tronco, 46 de negral, 48 de silvestre y 40 de laricio. En cada árbol apeado se cortó una rodaja por cada metro de altura, empezando la primera rodaja a la altura de 0,3 m (altura del tocón). En estos árboles se midieron además dos diámetros normales, diámetro del tocón, altura total y altura de fuste (una vez apeados).

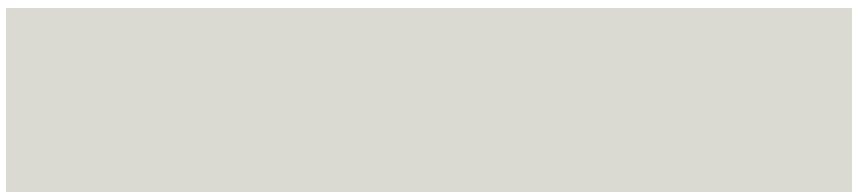
En cada rodaja se contaron los anillos para obtener los pares de valores altura-edad por árbol necesarios para el ajuste de ecuaciones de crecimiento en altura dominante (curvas de calidad de estación). Las lecturas se modificaron siguiendo dos pasos, primero con los datos de los dos análisis de tronco realizados por parcela se calculó el árbol dominante medio con el fin de evitar la autocorrelación existente entre los dos árboles. Este árbol dominante medio se calculó con la media de la edad para cada altura. Seguidamente se aplicó la corrección de Carmean (1972). En la siguiente tabla se describe la muestra de árboles en los que se ha realizado análisis de tronco:

Descripción de la muestra de análisis de tronco por especie								
	Edad (años)				Ho (m)			
	Media	Desv. est.	Mín.	Máy.	Media	Desv. est.	Mín.	Máy.
<i>P. pinaster</i>	51,83	8,37	41	67	14,79	3,36	10,15	24,00
<i>P. sylvestris</i>	48,75	3,97	42	55	17,45	4,01	9,45	24,70
<i>P. nigra</i>	47,60	4,31	43	55	15,43	2,32	10,85	19,80

2.2. Funciones de crecimiento ensayadas

En la tabla siguiente se presentan las cinco funciones ensayadas en el ajuste de los modelos de calidad de estación para cada especie:

Funciones de crecimiento ensayadas en el ajuste de los modelos de calidad de estación			
Función	Parámetro libre	Forma en diferencias algebraicas	Ecuación
Richards (1959) $Y = A (1 - \exp(-kT))^c$	A	$H_2 = H_1 \cdot \left[\frac{1 - \exp(k \cdot T_2)}{1 - \exp(k \cdot T_1)} \right]^c$	1.1
	k	$H_2 = A \cdot \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{H_1}{A} \right)^{\frac{1}{c}} \right]^{\frac{T_2}{T_1}} \right\}^c$	1.2
Bailey-Clutter (1974) $\ln Y = a + b \cdot T^c$	a	$H_2 = H_1 \cdot \exp \{ b \cdot [T_2^c - T_1^c] \}$	2.1
	b	$H_2 = \exp \left[a + (\ln(H_1) - a) \cdot \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^c \right]$	2.2
McDill-Amateis (1992) (Modificación de la función Hossfel IV)	–	$H_2 = \frac{M}{1 - \left(1 - \frac{M}{H_1} \right) \cdot \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^\alpha}$	3

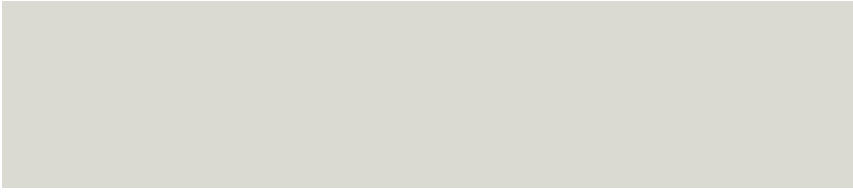


2.3. Resultados de los ajustes de los modelos de calidad de estación

A continuación se exponen los resultados del ajuste a los datos de los análisis de tronco de la mejor función por especie:

Resultados de los mejores ajustes por especie de los modelos de calidad de estación									
Especie	Ecuación	Estimación de parámetros				SC	ECM	EF	Sesgo
		A, a, M	k, b	m, c	α				
<i>P. pinaster</i>	1.1	-	-0,0361 (0,000128)	1,6209 (0,00272)	-	518,7	0,0973	0,9148	0,0092*
<i>P. sylvestris</i>	3	40,3331 (0,0755)	-	-	1,5003 0,00107	345,1	0,0496	0,9686	-0,0070*
<i>P. nigra</i>	1.2	29,7954 (0,0717)	-	1,5162 (0,00144)	-	172,3	0,0367	0,9807	-0,0052*

En paréntesis el error estándar; SC suma de cuadrados; ECM error cuadrático medio; EF eficiencia del modelo; * p<0,01.



ANEXO 3: RECTA DE MÁXIMA DENSIDAD

3.1. Datos

Para poder determinar la recta de máxima densidad de Reineke para cada especie se instalaron 24 parcelas en repoblaciones densas de las tres especies en Castilla y León (10 de pino negral en Salamanca, 4 de pino silvestre en León y 6 de pino laricio en León). Se buscaron zonas con espesura excesiva en las que se supiese que nunca se había realizado una clara. Estas parcelas son cuadradas de 100 m² y en ellas se midieron los diámetros de todos los árboles. En la tabla siguiente se presentan los datos de las parcelas de máxima densidad muestreadas.

Datos por hectárea de las parcelas de máxima densidad por especie					
Especie	Dg (cm)	Nº pies / ha	G(m ² / ha)	SDI ¹⁾	SDI ²⁾
<i>P. pinaster</i>	25,2	1.800	89,91	1.825,4	
	27,2	1.300	75,28	1.484,4	
	25,6	1.600	82,20	1.659,6	
	16,2	3.900	79,98	1.935,9	
	13,8	5.000	74,30	1.916,5	
	18,3	2.600	68,70	1.581,6	
	12,3	4.700	55,63	1.500,9	
	11,4	5.500	55,89	1.554,1	
	11,5	5.100	53,01	1.467,4	
	7,2	10.700	43,77	1.456,7	
<i>P. sylvestris</i>	15,9	3.500	69,09	1.642,5	1.534,0
	15,3	3.300	60,69	1.463,1	1.359,4
	16,7	2.900	63,78	1.484,3	1.397,1
	17,2	3.000	69,37	1.598,5	1.510,1
<i>P. nigra</i>	14,7	2.900	49,39	1.208,9	
	18,5	2.200	58,88	1.318,0	
	13,8	2.900	43,19	1.085,5	
	23,1	2.100	87,82	1.800,1	
	21,3	2.600	92,25	1.953,3	
	23,6	2.200	95,96	1.950,7	

1)SDI calculado con la pendiente de la recta propuesta por Reineke (-1,605)

2)SDI calculado con la pendiente para *Pinus sylvestris* propuesta por Río *et al* (2001) (-1,750)

Las parcelas de máxima densidad muestreadas se analizaron a través del índice de densidad de Reineke, uno de los índices más empleado para estudiar el autoaclareo de las masas forestales debido a la competencia causada por densidades excesivas. Reineke (1933) postuló que la relación de la evolución del número de pies con el diámetro medio cuadrático es lineal en una escala doblemente logarítmica, con una pendiente de -1,605. En estudios posteriores se ha comprobado que esta pendiente puede variar con la especie (vide Bravo *et al.*, 1997). De las tres especies estudiadas, para *Pinus sylvestris* existe un modelo de autoaclareo en masas no intervenidas ajustado con las parcelas testigo de la red de parcelas de claras del CIFOR-INIA (Río *et al.*, 2001), por lo que se ha utilizado la pendiente y la densidad máxima obtenidas en este modelo en lugar de la propuesta por Reineke. En el caso de *Pinus pinaster* y *Pinus nigra* se ha utilizado la pendiente dada por Reineke, ya que no se dispone de suficiente información para discutir esta pendiente, y se ha calculado la máxima densidad a partir de los datos de las parcelas de máxima densidad muestreadas.

3.2. Recta de máxima densidad para *Pinus pinaster*

A partir de las 10 parcelas situadas en masas de máxima densidad encontrada y asumiendo la pendiente propuesta por Reineke (-1,605), se ha ajustado la recta de máxima densidad de Reineke para repoblaciones de pino negral:

$$\ln(N) = 12,562 - 1,605 \cdot \ln(Dg)$$

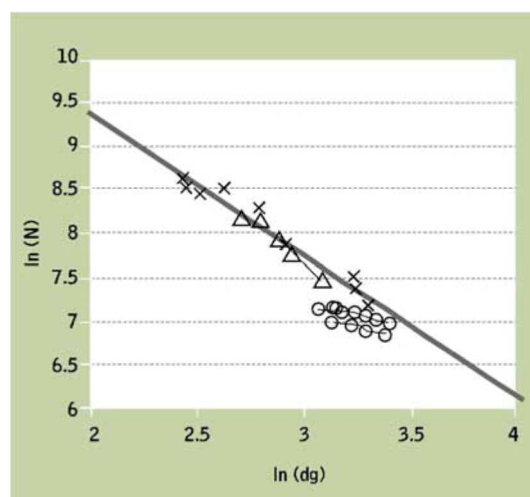
donde N es el número de pies por hectárea y Dg el diámetro medio cuadrático en cm. El índice de densidad de Reineke (SDI) para esta recta es de 1629. En la tabla se presentan para distintos diámetros los valores correspondientes en número de pies y área basimétrica para esta máxima densidad. La máxima área basimétrica encontrada en las parcelas es de 89,9 m²/ha.

Número de pies por hectárea y área basimétrica por diámetro medio cuadrático según la recta de máxima densidad.

	Dg (cm)						
	10	15	20	25	30	35	40
Nº pies/ha	7.089	3698	2.331	1.629	1.216	949	766
G (m ² /ha)	55,7	65,4	73,2	80,0	85,9	91,3	96,3

Con el fin de validar esta recta, se ha comparado con los datos de un ensayo de claras del CIFOR-INIA en el que se dispone de un tratamiento testigo y, por lo tanto, parcelas con máxima espesura (sitio de ensayo Fuencaliente, anexo 4). Se trata de un ensayo en el que se dispone de tres parcelas testigo en las que no se ha realizado ninguna clara pero sí un clareo y de una parcela en la que no se ha intervenido nunca (máxima densidad biológica). En las cuatro parcelas existe mortalidad natural debida a la competencia o autoaclareo. Según la figura, la parcela de máxima densidad biológica presenta densidades similares a las observadas en las repoblaciones con espesura alta, mientras que las tres parcelas testigo presentan menores espesuras, aunque tienden a esta máxima densidad.

Recta de máxima densidad de Reineke ajustada para *Pinus pinaster*; datos de las 10 parcelas muestreadas en repoblaciones no aclaradas (cruces); datos de la parcela de máxima densidad de Fuencaliente (triángulos); y datos de las parcelas testigo de Fuencaliente (círculos).



3.3. Recta de máxima densidad para *Pinus sylvestris*

La recta de máxima densidad de Reineke propuesta por Río *et al.* (2001) para masas naturales y artificiales a partir de parcelas del CIFOR-INIA tiene la siguiente expresión:

$$\ln(N) = 12,909 - 1,750 \cdot \ln(Dg)$$

donde N es el número de pies por hectárea y Dg el diámetro medio cuadrático en cm. El índice de densidad de Reineke (SDI) asociado a esta recta es 1445. En la siguiente

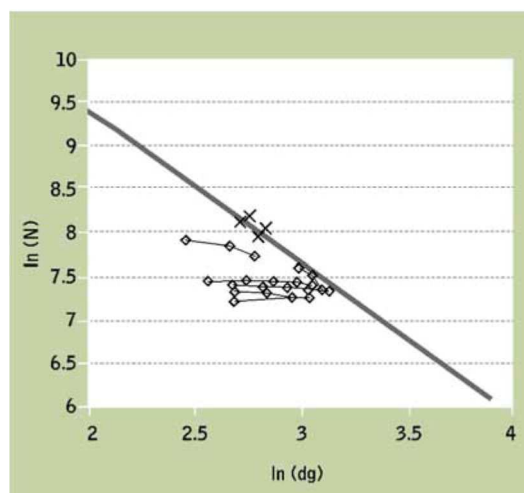
te tabla se presentan los valores correspondientes en número de pies y área basimétrica para esta máxima densidad para distintos diámetros.

Número de pies por hectárea y área basimétrica según la recta de máxima densidad para diferentes diámetros cuadráticos medios

	Dg (cm)						
	10	15	20	25	30	35	40
Nº pies/ha	7.181	3.532	2.135	1.445	1.050	802	635
G (m²/ha)	56,4	62,4	67,1	70,9	74,2	77,1	79,8

En la siguiente figura se representa esta recta de máxima densidad con parte de los datos utilizados en su ajuste (solo las parcelas testigo de los ensayos de claras del CIFOR-INIA en masas artificiales) junto con los datos de las cuatro parcelas densas muestreadas en repoblaciones de silvestre en Castilla y León. Según esta figura se puede aceptar la validez de esta recta como la de máxima densidad en repoblaciones.

Recta de máxima densidad de Reineke propuesta por Río *et al.* (2001) para *Pinus sylvestris*; datos de las 4 parcelas muestreadas en repoblaciones densas no aclaradas (cruces); datos de parcelas testigo de los ensayos de claras en repoblaciones (rombos).



3.4. Recta de máxima densidad para *Pinus nigra*

Se ha ajustado la recta de máxima densidad de Reineke a partir de los datos de las 6 parcelas temporales muestreadas en repoblaciones que no fueron aclaradas. Como pendiente se asumió la propuesta por Reineke (-1,605), obteniendo la siguiente ecuación:

$$\ln(N) = 12,5572 - 1,605 \cdot \ln(Dg)$$

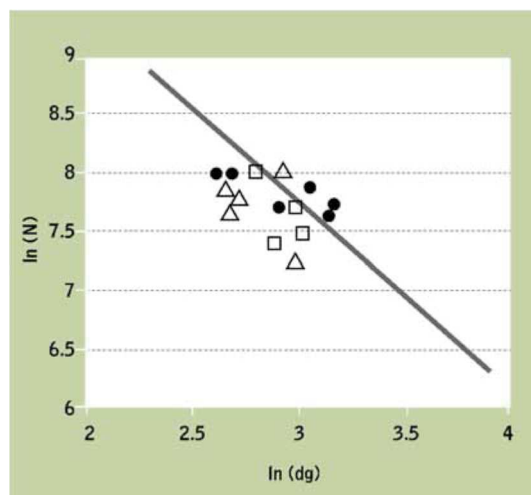
donde N es el número de pies por hectárea y Dg el diámetro medio cuadrático en cm. El índice de densidad de Reineke (SDI) asociado a esta recta es 1621. En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes en número de pies y área basimétrica para esta máxima densidad para distintos diámetros. La máxima área basimétrica encontrada en las parcelas muestreadas es de 95,9 m²/ha.

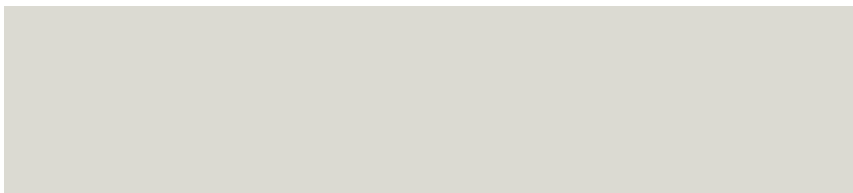
Número de pies por hectárea y área basimétrica según la recta de máxima densidad para diferentes diámetros medios cuadráticos

	Dg (cm)						
	10	15	20	25	30	35	40
Nº pies/ha	7.055	3.680	2.319	1.621	1.210	945	762
G (m ² /ha)	55,4	65,0	72,9	79,6	85,5	90,9	95,8

Esta recta no se ha podido contrastar con los datos de las parcelas testigo de los ensayos de claras del CIFOR-INIA, ya que estas parcelas presentan todavía espesuras muy bajas debido a su joven edad y baja densidad inicial. Con el fin de analizar si esta recta refleja la máxima densidad, se ha comparado con datos de parcelas del segundo y tercer Inventario Forestal Nacional en Castilla y León que fuesen monoespecíficas (más de un 90% de la especie) y densas (SDI>900). Según este criterio se seleccionaron 4 parcelas del IFN2 (en Burgos 1 y en León 3) y 5 parcelas del IFN3, todas en León. En la siguiente figura se representa la recta de máxima densidad obtenida, junto a los datos de las seis parcelas de máxima densidad muestreadas y los datos del IFN2 y IFN3. Según esta figura se puede asumir la recta de máxima densidad propuesta.

Recta de máxima densidad de Reineke ajustada para repoblaciones de *Pinus nigra*; datos de las 6 parcelas muestreadas en repoblaciones densas no aclaradas (puntos); datos de las parcelas del segundo inventario forestal nacional (cuadrados); y datos de las parcelas del tercer inventario forestal nacional (triángulos).





ANEXO 4: PARCELAS DE CLARAS DEL CIFOR-INIA

4.1. Descripción de los ensayos

El INIA posee una red de parcelas permanentes cuyo objetivo principal es proporcionar la información necesaria para elaborar modelos de producción y gestión sostenibles para una serie de especies consideradas. En el año 1963 se inició el programa de estudio del “Crecimiento y Producción de las masas forestales españolas”, a cargo de la Sección de Silvicultura y Ordenación de Montes del antiguo IFIE. Según este programa se instalaron dos tipos de redes de parcelas, unas parcelas individualizadas repartidas por el territorio nacional siguiendo el área de distribución de las distintas especies y según clases de edad y calidades de estación, *Red de Parcelas de Producción*; y otras parcelas de ensayo y comparación de diferentes regímenes de claras, *Red de Parcelas de Claras*. En este trabajo se han utilizado las parcelas de la red de claras situadas en repoblaciones de las tres especies de pinos estudiadas.

La Red de Parcelas de Claras está formada por diversos ensayos de claras instalados en masas de distintas especies, tanto naturales como artificiales, y en distintas calidades de estaciones. El objetivo principal de estos ensayos es estudiar y cuantificar la respuesta en crecimiento, producción y estructura de la masa a distintos tratamientos de claras. Conocer esta respuesta a las claras permite definir el régimen de claras más adecuado para cada especie y calidad de estación.

Dentro del dispositivo de claras del CIFOR-INIA se dispone de nueve sitios de ensayo en repoblaciones de *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*. En este manual se ha utilizado la información obtenida en estos ensayos, tanto cuantitativa como cualitativa, para discutir la densidad adecuada y para definir la propuesta selvícola para cada especie.

Descripción de los sitios de ensayo del CIFOR-INIA en repoblaciones

Especie	Sitio de ensayo	Año de instalación	Edad de iniciación	Calidad de estación	Tratamientos	Nº de claras
<i>P. pinaster</i>	Retiendas (Gu)	1986	30 años	alta, media y baja	2	2
<i>P. pinaster</i>	Atienza (Gu)	1980	26 años	media y baja	2	3
<i>P. pinaster</i>	Fuencaliente (CR)	1984	33 años	alta	3	3
<i>P. sylvestris</i>	Villasur (Bu)	1982	22 años	alta	3	3
<i>P. sylvestris</i>	Riaza (Sg)	1988	20 años	alta	2	2
<i>P. sylvestris</i>	Montejo (M)	1980	28 años	alta	3	3
<i>P. sylvestris</i>	Gascones (M)	1980	26 años	alta	2	3
<i>P. sylvestris</i>	Morcuera (M)	1991	39 años	alta, media y baja	5	2
<i>P. nigra</i>	Zarzuela I (Gu)	1993	26 años	alta y media	4	1

En las experiencias de claras del CIFOR-INIA se ensayan distintos tratamientos de claras, en los que varía el tipo y el peso de las intervenciones aplicadas. Los pesos de clara ensayados, así como la edad de iniciación y la rotación varían entre sitios de ensayo, aunque la rotación suele ser de 10 años. Los tratamientos ensayados son los siguientes:

- **Testigo:** No se realizan claras y sólo se cortan y extraen los pies muertos.
- **Clara baja débil-C:** Clara por lo bajo en la que se elimina un 15-20% del área basimétrica.
- **Clara baja moderada-D:** Clara por lo bajo en la que se elimina un 20-30% del área basimétrica.
- **Clara baja fuerte-E:** Clara por lo bajo en la que se elimina más del 30% del área basimétrica.
- **Clara de selección de árboles de porvenir-S:** Clara en la que se eliminan los competidores de los 300-350 mejores individuos por hectárea. Se elimina aproximadamente un 30-40% del área basimétrica.
- **Clara alta-Alt:** Clara en la que se eliminan los peores individuos del estrato superior y los secos y puntisecos del estrato dominado. Se elimina aproximadamente un 30-35% del área basimétrica.

La superficie de las parcelas varía de 625 a 1000 m² y cada una está rodeada de una banda de 10 m en la que se aplica el mismo tratamiento que en la parcela para evitar el efecto borde. Los inventarios se realizan cada 5 años, en los que se mide el diámetro normal de todos los árboles de la parcela y la altura en una muestra de 30 árboles repartida proporcionalmente por clases diamétricas para estimar la altura media de la masa y en los 10 árboles más gruesos para estimar la altura dominante de la misma.

4.2. Caracterización de las claras

Además de utilizar los resultados de estos ensayos de claras para proponer los tratamientos selvícolas a aplicar en las repoblaciones (propuesta selvícola por especie), se ha utilizado la caracterización de los tratamientos de claras en los ensayos del CIFOR-INIA como cifras de referencia para discutir la densidad propuesta por especie y para construir las tablas de producción.

La densidad propuesta para cada especie se ha comparado con la observada en los distintos tratamientos de claras de la red de parcelas de claras. Esta comparación se ha realizado mediante el índice de densidad de Reineke (SDI). A continuación se presentan los índices de densidad de Reineke promedios observados en los ensayos de claras del CIFOR-INIA para las tres especies.

Índices de densidad de Reineke (SDI) promedios observados después de la clara en ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino negral.

Sitio de ensayo	SDI		
	C	D	E
Retiendas		733	678
Atienza	756	688	551
Fuencaliente		705	617
C: Clara baja débil; D: Clara baja moderada; E: Clara baja fuerte			

Índices de densidad de Reineke (SDI) promedios observados después de la clara en ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino silvestre.

	SDI				
	C	D	E	S	ALT
Villasur	693	582			
Riaza		547	395		
Montejo	957	770			
Gascones	793	758			
Morcuera	632	636	555	602	481

C: Clara baja débil; D: Clara baja moderada; E: Clara baja fuerte; S: Clara de selección de árboles de porvenir; Alt: Clara alta fuerte

Índices de densidad de Reineke (SDI) promedios observados después de la clara en ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino laricio.

	SDI		
	E	S-M	S-F
Zarzuela	496	485	434

E: Clara baja fuerte; S-M: Clara moderada con selección de árboles de porvenir; S-F: Clara fuerte con selección de árboles de porvenir.

En la construcción de las tablas de producción propuestas, para definir la masa extraída en las claras se han utilizado como cifras de referencia los valores de los índices del tipo de claras observados en los ensayos del CIFOR-INIA. En las siguientes tablas se exponen los valores medios de los índices $Dge/Dgac$ y $Vme/Vmac$ (cocientes del valor del diámetro medio cuadrático y volumen del árbol medio respectivamente de la masa extraída entre el correspondiente valor de la masa antes de la clara), que describen el tipo de clara realizada, para cada especie y según el tipo e intensidad de las claras.

Valores medios de los cocientes Dg_e / Dg_{ac} y Vm_e / Vm_{ac} en los ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino negral.

	Dg _e /Dg _{ac}			Vm _e /Vm _{ac}		
	C	D	E	C	D	E
1ª Clara	0,77	0,84	0,87	0,52	0,67	0,70
2ª Clara	0,87	0,90	0,93	0,72	0,77	0,83

C: Clara baja débil; **D:** Clara baja moderada; **E:** Clara baja fuerte

Valores medios de los cocientes Dg_e / Dg_{ac} y Vm_e / Vm_{ac} en los ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino silvestre.

	Dg _e /Dg _{ac}					Vm _e /Vm _{ac}				
	C	D	E	S	Alt	C	D	E	S	Alt
1ª Clara	0,75	0,83	0,84	0,86	1,03	0,53	0,66	0,68	0,72	1,09
2ª Clara	0,84	0,88	0,91			0,68	0,75	0,80		
3ª Clara	0,97	0,98				0,91	0,95	0,97		

C: Clara baja débil; D: Clara baja moderada; E: Clara baja fuerte; S: Clara de selección de árboles de porvenir; Alt: Clara alta fuerte

Valores medios de los cocientes Dg_e / Dg_{ac} y Vm_e / Vm_{ac} en los ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino laricio.

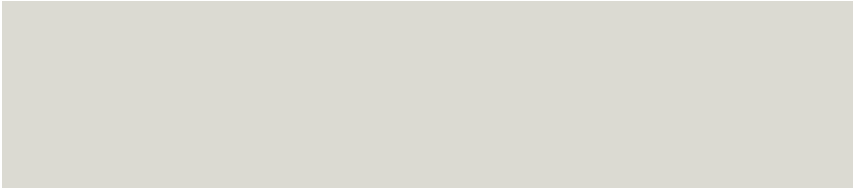
	Dg _e /Dg _{ac}			Vm _e /Vm _{ac}		
	E	S-M	S-F	E	S-M	S-F
1ª clara	0,89	0,86	0,91	0,74	0,67	0,77

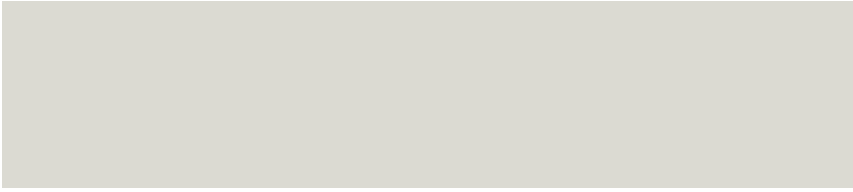
E: Clara baja fuerte; **S-M:** Clara moderada con selección de árboles de porvenir; **S-F:** Clara fuerte con selección de árboles de porvenir.

4.3. Resultados de la red de parcelas de claras

Se incluye una lista de referencias en las que se exponen resultados de la red de parcelas de claras del CIFOR-INIA, y que se han utilizado como referencia para definir la propuesta selvícola por especie.

- Cañellas I., Montero G., Ortega C., Bachiller A. 1997. Primeros resultados de una experiencia de claras combinadas con podas en una repoblación de *Pinus nigra* Arn. Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso Irati97, Mesa IV, 137-142.
- Gómez J.A., Montero G., 1989. Efectos de las claras sobre masas naturales de *Pinus sylvestris* L. en la vertiente sur del macizo de Urbión. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales, 48, 44 pp.
- Madrigal A., Gómez J.A., Montero G., 1985. Estado actual de las investigaciones sobre claras. Primeros resultados obtenidos en una experiencia en masa artificial de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales, 42, 49 pp.
- Montero G., Cañellas I., Ruiz-Peinado R., Ortega C., Río M., Bachiller A., 2001. Resultados de experiencias en tratamientos de claras en masas artificiales de *Pinus sylvestris* L. III Congreso Forestal Español, mesa 5, 745-751.
- Montero G., Río M., Ortega C., 2000. Ensayo de claras en una masa natural de pino silvestre en el Sistema Central. Invest. Agrar, Sist. Recur. For. 1, 147-177.
- Montero G., Cañellas I., Ortega C., Río M. del, 2001. Results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Iberico Mountain Range (Spain). For. Ecol. Man. 145, 151-161.
- Montero G., Ortega C., Cañellas I., Bachiller A., 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una población de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos regímenes de claras. Inv. Agr.: Sist. y Rec. For., Fuera de Serie (1), 175-206.
- Montero G., Río M. del, Ortega C., 1997. Efectos de la selvicultura en la reducción de los daños por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* L. del Sistema Central. Montes 47: 5-10.

- 
- Ortega C., Río M. del, Montero G., Bachiller A., 1997. Resultados de una experiencia de claras en repoblaciones de *Pinus pinaster* Ait. en el norte de Guadalajara. Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso Irati97, Mesa IV, 429-434.
 - Río M. del, 1999. Régimen de claras y modelo de producción para *Pinus sylvestris* L. en los Sistemas Central e Ibérico. Tesis Doctorales INIA. Serie: Forestal N° 2.
 - Río M. del, Montero G., 2001. Modelo de simulación de claras en masas de *Pinus sylvestris* L. Monografías del INIA: Forestal n° 3, 114 pp.
 - Río M. del, Montero G., Ortega C. 1997. Respuesta de los distintos regímenes de claras a los daños causados por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Invest Agrar: Sist Recur For, 6(1 y 2), 103-117.
 - Río M. del, Montero G., Ortega C., Bachiller A., 1997. Resultados de una experiencia de claras en masas artificiales de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso Irati-97, Mesa IV, 213-218.
 - Río M. del, Montero G., Bravo F., 2001. Analysis of diameter-density relationships and shelf-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands. For. Ecol. Manag. 142, 79-87.
 - Río M. del, Roig S., Cañellas I., Montero G., 2005. Programación de claras en repoblaciones de *Pinus sylvestris* L. Seguimiento de sitios de ensayo en la Comunidad de Madrid. Monografías del INIA: Serie Forestal n° 12, 46 pp.



BIBLIOGRAFÍA

Bailey R.L., Clutter J.L., 1974. *Base-age invariant polymorphic site curves*. For. Sci. 20, 155-159.

Bravo F., Río M., Montero G., 1997. *Índices de densidad de las masas forestales*. Ecología 11, 177-178.

Carmean W.H., 1972. *Site index curves for upland oaks in the central states*. For. Sci. 18, 109-120.

Diéguez U., 2004. *Modelo dinámico de crecimiento para masas de Pinus sylvestris L. procedentes de repoblación en Galicia*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

García Abejón J.L., 1981. *Tablas de producción de densidad variable para Pinus sylvestris L. en el Sistema Ibérico*. Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales 10, 47 pp.

García Abejón J.L.; Gómez Loranca J.A., 1984. *Tablas de producción de densidad variable para Pinus sylvestris L. en el Sistema Central*. Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales 29, 36 pp.

García J.L., Gómez J.A., 1989. *Tablas de producción de densidad variable para Pinus pinaster Ait. en el Sistema Central*. Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales, nº 47.

Gómez J.A., 1996. *Pinus nigra Arn. en el Sistema Ibérico: Tablas de crecimiento y producción*. Monografía INIA nº 93. Madrid. 106 pp.

ICONA, 1994. *Segundo Inventario Forestal Nacional, 1986-1995*, Castilla y León, varias provincias. MAPA, ICONA, Madrid.

Long J.N., 1985. *A practical approach to density management*. Forestry Chronicle 61, 23-27.

Madrigal A., 1998. *Problemática de la ordenación de masas artificiales en España*. Cuadernos de la S.E.C.F. 6, 13-20.

Madrigal A., Alvarez J.G., Rodríguez R., Rojo A., 1999. *Tablas de producción para los montes españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar.

McDill M.E., Amateis R.L., 1992. *Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function*. For. Sci. 38 (2), 409-429.

Montero G., Ortega C., Cañellas I., Bachiller A., 1999. *Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una población de Pinus pinaster Ait. sometida a distintos regímenes de claras*. Inv. Agr.: Sist. y Rec. For., Fuera de Serie (1), 175-206.

Montero G., Cañellas I., Ruiz-Peinado R., Ortega C., Río M. del, Bachiller A., 2001. *Resultados de experiencias en tratamientos de claras en masas artificiales de Pinus sylvestris L.* III Congreso Forestal Español, mesa 5, 745-751.

Ortega C., Río M. del, Montero G., Bachiller A., 1997. *Resultados de una experiencia de claras en repoblaciones de Pinus pinaster Ait. en el norte de Guadalajara*. Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso Irati97, Mesa IV, 429-434.

Reineke L.H., 1933. *Perfecting a stand-density index for even-aged forests*. J. Agric. Res. 46, 627-638.

Richards F.J., 1959. *A flexible growth function for empirical use*. J. Exp. Bot. 10, 290-300.

Río M. del, Montero G., Bravo F., 2001. *Analysis of diameter-density relationships and shelf-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands*. Forest Ecology and Management, 142, 79-87.

Río M. del, Roig S., Cañellas I., Montero G., 2005. *Programación de claras en repoblaciones de Pinus sylvestris L. Seguimiento de sitios de ensayo en la Comunidad de Madrid*. Monografías del INIA: Serie Forestal nº 12, 46 pp.

Rojó A., Montero G., 1996. *El pino silvestris en la Sierra de Guadarrama*. MAPA, Madrid 293 pp.

serie **t** técnica



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



INIA

Instituto Nacional de Investigación
y Tecnología Agraria y Alimentaria



Junta de
Castilla y León