

MODELO SELVÍCOLA PARA REPOBLACIONES DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DEL GÉNERO *Pinus*

Miren del Río Gaztelurrutia*¹⁾, Ricardo Ruíz-Peinado²⁾, Eduardo López Senespleda³⁾
Centro de Investigaciones Forestales CIFOR-INIA
Ctra. de La Coruña km 7,5
28040 MADRID

*Autor de correspondencia

- 1) delrio@inia.es
- 2) ruizpein@inia.es
- 3) elopez@inia.es

RESUMEN

En gran parte de las repoblaciones del género *Pinus* realizadas a mediados del S. XX las intervenciones selvícolas han sido muy escasas o nulas. Por este motivo, es importante disponer de un régimen de claras adecuado para cada especie y calidad de estación. En este trabajo se presenta la metodología utilizada para la elaboración de una propuesta selvícola para repoblaciones de tres de las especies más representativas, *Pinus pinaster*, *P. sylvestris* y *P. nigra*. Los datos utilizados provienen de 136 análisis de tronco y 156 parcelas temporales realizadas en repoblaciones de Castilla y León, conjuntamente con 9 ensayos de claras del CIFOR-INIA. Para cada especie se ha elaborado la siguiente información: curvas de calidad de estación; recta de Reineke de máxima densidad; norma selvícola basada en la recta de Reineke; valores de los índices del tipo y peso de las claras; tablas de producción de silvicultura observada basada en parcelas con espesura adecuada; propuesta selvícola según calidad estación. Como ejemplo, dada la extensión de la información, se presentan los resultados para *Pinus pinaster*.

PALABRAS CLAVES: Claras, norma selvícola, calidad de estación, pinos, repoblaciones

MESA TEMÁTICA: Silvicultura y sistemas agroforestales

INTRODUCCIÓN

El origen de las recientes masas artificiales de España se remonta a antes de la Guerra Civil, pero la gran mayoría son fruto del Plan General de Repoblación Forestal de 1939, de J. Ximénez de Embún y L. Cevallos (MADRIGAL, 1998). Aunque en un primer momento las repoblaciones del Plan General desempeñaban una importante función social, las principales funciones atribuibles a estas masas son las de protección y las de producción. La superficie repoblada con coníferas en España, desde el año 1940 hasta la actualidad, supera los 4 millones de hectáreas, y en concreto para las tres especies que nos ocupan, las superficies de repoblación se sitúan en torno a las 700.000 ha para *Pinus sylvestris* L., 800.000 ha para *P. pinaster* Ait. y 500.000 ha para *P. nigra* Arnold (M.A.P.A, varios años).

Las masas procedentes de repoblación presentan una serie de problemas propios, básicamente debidos a la monoespecificidad y a la coetaneidad (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 estas masas, agudizado por la coetaneidad ya que entran en competencia más bruscamente. La justificación de las intervenciones selvícolas en estas masas se basa en asegurar la permanencia de las mismas garantizando el buen estado sanitario, el vigor y su capacidad regenerativa. Las claras cumplen 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. En este trabajo se presenta la metodología utilizada para la elaboración de las propuestas selvícolas para repoblaciones

de estas tres especies situadas en Castilla y León, poniendo como ejemplo los resultados obtenidos para el pino negral.

DATOS

Se han instalado 45 parcelas temporales en repoblaciones de *Pinus pinaster* en Castilla y León, repartidas por las provincias de Salamanca, Soria y Zamora. Las parcelas se localizaron en masas ya aclaradas y donde se consideró que la espesura era adecuada. Se han distribuido las parcelas según edades y calidades de estación. Las parcelas son circulares de radio 12,6 m con una superficie de 500 m². Además de estas 45 parcelas, se han instalado 10 parcelas de 100 m² (10 x 10 m) en repoblaciones no aclaradas para la estimación de la máxima densidad de la especie.

En cada parcela se midieron dos diámetros normales perpendiculares en todos los árboles. En las parcelas circulares se midieron 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. En estos árboles tipo se midieron la altura total, de copa y de máxima anchura de la copa, dos diámetros de copa, espesor de corteza y posición sociológica. Se han realizado análisis de tronco de dos árboles dominantes por parcela en aquellas masas de más de 40 años de edad (46 análisis de tronco). El análisis de tronco se realizó cortando una rodaja por cada metro de altura, empezando la primera rodaja a la altura de 0,3 m (altura del tocón).

Dado que las alturas se han medido en una muestra de 10 árboles por parcela, para estimar las alturas del resto de los árboles se ha ajustado un modelo altura-diámetro por parcela. El volumen de cada árbol se ha estimado a partir del diámetro normal y la altura total con las ecuaciones de cubicación que propone el Segundo Inventario Forestal Nacional para esta especie en cada provincia muestreada. En la tabla 1 se describen los valores medios por hectárea de las 45 parcelas temporales.

Además de estos datos, se dispone de tres sitios de ensayo de claras en repoblaciones de pino negral, dos de plantación y una de siembra. La información básica de cada uno de ellos es la siguiente:

- *El Vado*- Retiendas (Guadalajara). Masa procedente de plantación con 30 años al inicio de la experiencia. Se dispone de siete parcelas repartidas en tres calidades de estación en las que se han aplicado claras bajas de moderadas a fuertes. Se han realizado dos claras y cuatro inventarios.
- *Atienza*- Atienza (Guadalajara). Masa procedente de plantación con 26 años al inicio de la experiencia. Se dispone de seis parcelas en las que se han aplicado claras bajas y de selección de árboles de porvenir de moderadas a fuertes. Se han realizado tres claras y cinco inventarios.
- *Fuencaliente*- Fuencaliente (Ciudad Real). Masa procedente de siembra con 33 años al inicio de la experiencia. Se dispone de 10 parcelas, nueve de ellas siguiendo un diseño en bloques aleatorios con tres bloques y tres tratamientos. Los tres tratamientos son: testigo sin intervención, claras bajas moderadas y claras bajas fuertes. La décima parcela es una parcela de máxima densidad biológica. Se han realizado tres claras y cinco inventarios.

METODOLOGÍA

a) Curvas de calidad de estación

Los datos procedentes de la lectura de las rodajas se han modificado calculando el árbol medio por parcela, con el fin de evitar la autocorrelación entre los dos árboles, y aplicando la corrección de Carmean para evitar el sesgo que se produce al asignar la edad a cada rodaja (CARMEAN, 1972). Para desarrollar el modelo de calidad de estación se ha elegido el método de las ecuaciones en diferencias, por lo que se han calculado para cada árbol medio todos los intervalos posibles de $(H_1, T_1) - (H_2, T_2)$ (HUANG, 1997), resultando 5336 pares de observaciones. Se han probado 5 funciones en diferencias, siguiendo una metodología similar a la empleada en BRAVO-OVIEDO *et al.* (2004). Los modelos obtenidos se han validado con los datos de las parcelas de claras del CIFOR-INIA.

b) Recta de máxima densidad de Reineke y norma selvícola

A partir de los datos de las 10 parcelas instaladas en masas no aclaradas se ha buscado la recta de máxima densidad de Reineke para estas repoblaciones. La recta obtenida se ha contrastado con los

datos de las parcelas testigo del ensayo de claras de Fuencaliente, único sitio de ensayo con tratamiento testigo. Se dispone de tres parcelas testigos en las que no se ha realizado ninguna clara (se hizo un clareo previo a la instalación) y de una parcela en la que no se ha intervenido nunca (máxima densidad biológica). En las cuatro parcelas existe mortalidad natural o autoclareo.

Las normas selvícolas expresan la evolución de un rodal forestal a través de relaciones entre el número de pies y una variable que refleje el tamaño del árbol medio, proponiendo una evolución de la espesura. Si esta variable es el diámetro medio cuadrático se suele utilizar el índice de densidad de Reineke (SDI). Basándose en la recta de máxima densidad de Reineke, LONG (1985) propone que un régimen de claras adecuado debe encontrarse entre dos valores de referencia del SDI: el 60% de la máxima densidad encontrada para la especie, a partir del cual comienza el autoclareo o mortalidad natural por competencia; y el 35% como el límite inferior de la completa ocupación de la estación.

c) Índices de claras

Los distintos índices que caracterizan un régimen de claras son de gran utilidad a la hora de planificar las intervenciones a realizar en una masa, tanto a nivel comarcal como a nivel monte. Se han analizado los valores que toman los principales índices de claras en las experiencias de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de *Pinus pinaster* con el fin de que sirvan de referencia para planificar las cortas de mejora en las repoblaciones de esta especie.

d) Tablas de producción

Asumiendo que la selvicultura que reflejan las parcelas muestreadas en repoblaciones de *Pinus pinaster* en Castilla y León es una selvicultura adecuada para este tipo de masas, se han construido unas tablas de producción de selvicultura observada a partir de los datos de las 45 parcelas (tabla 1). Se ha utilizado la metodología de las relaciones fundamentales (MADRIGAL *et al.*, 1999).

RESULTADOS

a) Curvas de calidad de estación

Los mejores resultados de las cinco funciones ensayadas se obtienen con el modelo de Richard anamórfico, presentando el menor error y la mayor eficiencia (0,91), aunque es un modelo ligeramente sesgado (0,00924, significativo al 0,05). Este modelo también presenta los mejores resultados en la validación realizada con los datos de las parcelas de claras del CIFOR-INIA. El modelo tiene la siguiente expresión:

$$H_2 = H_1 \cdot \left[\frac{1 - \exp(-0,0361 \cdot T_2)}{1 - \exp(-0,0361 \cdot T_1)} \right]^{1,6209}$$

donde H_i es la altura dominante en metros a la edad T_i en años. Para el uso del modelo de calidad en repoblaciones se considera adecuada una edad índice de 50, ya que en los datos existen pocas masas con edades superiores. En la figura 1 se representan las curvas obtenidas con este modelo correspondientes a unos índices de sitio de 12, 15, 18, 21 y 24 m de altura dominante a los 50 años.

b) Recta de máxima densidad de Reineke y norma selvícola

La recta de Reineke ajustada a los 10 datos de las parcelas no aclaradas es la siguiente:

$$\ln(N) = 12,322 - 1,5177 \cdot \ln(Dg) \quad R^2 = 0,975$$

donde N es el número de pies por hectárea y Dg el diámetro medio cuadrático en cm. El valor obtenido para la pendiente de la recta no difiere significativamente de la propuesta por Reineke (-1,605), por lo que debido al reducido número de datos disponibles se ha calculado la recta asumiendo el valor propuesto por Reineke y obteniendo el parámetro independiente con el promedio de las 10 parcelas (12,562). Esta recta se ha comparado con los datos del sitio de ensayo de Fuencaliente (figura 2). La parcela de máxima densidad biológica de Fuencaliente 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. Se propone como recta de máxima densidad la recta con la pendiente de Reineke y el parámetro promedio de las parcelas más densas:

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

Esta recta de máxima densidad corresponde con un índice de densidad de Reineke máximo $SDI_{max}=1626$. Las densidades entre el 35 y el 60 % de esta máxima densidad suponen unos índices entre 569 y 975. En la figura 3 se han representado las rectas que corresponden a estas tres densidades junto con los puntos de las 45 parcelas medidas en repoblaciones de *Pinus pinaster*. Según esta figura, muchas de las parcelas observadas se sitúan por debajo de la recta del 35% 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 entre las rectas del 25 y el 45 % del SDI_{max} . Teniendo en cuenta que en las parcelas muestreadas en repoblaciones de Castilla y León se han buscado las espesuras óptimas, se propone la recta del 35% de la densidad máxima como índice de densidad de referencia, que en este caso supone un índice de densidad de Reineke de 569. Con el fin de facilitar la planificación de las claras se propone un intervalo del 10% alrededor de esta densidad. De este modo, tras la clara y en edades más tempranas la densidad se debe acercar al 25% ($SDI=406$) de la máxima densidad, mientras que antes de la clara y en edades más avanzadas en torno al 45% ($SDI=732$).

c) Índices de claras

Los índices más frecuentemente utilizados para describir el tipo de clara son el cociente del diámetro medio cuadrático extraído en la clara entre el diámetro medio cuadrático antes de la clara (Dg_e/Dg_{ac}) y el correspondiente en volumen del árbol medio (Vm_e/Vm_{ac}). En la tabla 2 se presentan los valores medios de estos índices obtenidos en las claras aplicadas en los sitios de ensayo. Los cocientes aumentan con la intensidad de las claras y con el número de claras realizadas, ya que en la primera clara se ha eliminado gran parte del estrato dominado.

Con respecto a la rotación, en las experiencias de claras del CIFOR-INIA la rotación o periodicidad de las claras ha sido entre 8 y 10 años. Con frecuencia, se utiliza el crecimiento en altura dominante para fijar la rotación de las claras. Según los datos de estos ensayos, una rotación de 10 años expresada en crecimiento en altura dominante sería hasta 5 m para edades jóvenes en la mejor calidad de estación, y en torno a los 2 m en calidades intermedias o bajas.

El peso de la clara se suele expresar como porcentaje del área basimétrica o volumen de la masa extraída con respecto a la masa antes de la clara. Sin embargo, en la práctica puede resultar más cómodo expresar el peso de la clara en número de pies, por ejemplo a la hora de marcar la clara, por lo que es necesaria una equivalencia que relacione las dos formas de expresar el peso de la clara. Esta relación variará según las características de la masa, el tipo de clara y el número de las claras que se hayan realizado con anterioridad. En la tabla 3 se relacionan los pesos de las intervenciones en área basimétrica y en número de pies, calculados con los datos de los ensayos del CIFOR-INIA.

Por último, en las tabla 4 y 5 se presentan los valores del índice de densidad de Reineke y del índice Hart-Becking obtenidos en los ensayos de claras, ya que con frecuencia se utilizan estos índices para planificar las claras. Las diferencias entre sitios de ensayo en el índice de Hart-Becking se deben a la influencia de la calidad de estación y de la edad en este índice.

d) Tablas de producción

Con los datos de las parcelas muestreadas en zonas donde se ha observado una espesura adecuada se han obtenido los siguientes resultados en los ajustes de las relaciones fundamentales:

- 2ª relación fundamental: $\ln(N) = 8,99358 - 0,99537 \cdot \ln(Ho)$ $R^2=0,5848$

- 3ª relación fundamental: $Dg = -11,16517 + 6,63363 \cdot \frac{100}{\sqrt{N}} + 0,71567 \cdot Ho$ $R^2=0,9141$

- 4ª relación fundamental: $\ln(V) = -0,74958 + 1,02331 \cdot \ln(G) + 0,92231 \cdot \ln(Ho)$ $R^2=0,9953$

- 5ª relación fundamental: $Hm = -0,61185 + 0,98908 \cdot Ho$ $R^2=0,9826$

donde N es el número de pies por hectárea, H_o la altura dominante en m, D_g el diámetro medio cuadrático en cm, V el volumen en m^3/ha , G el área basimétrica en m^2/ha y H_m la altura media en m. A partir de la primera relación fundamental (curvas de calidad de estación) y con estas otras cuatro relaciones se construyen los datos de la masa antes de la clara de las tablas de producción de selvicultura observada para cada una de las calidades de estación definidas. Los datos correspondientes a la masa extraída se han calculado utilizando el cociente $D_{g_e}/D_{g_{ac}}$, según los valores encontrados en las parcelas de claras del CIFOR-INIA (Tabla 2). Las evoluciones propuestas en las tablas de producción quedan dentro del intervalo de espesuras propuesto en la norma selvícola. Por problemas de espacio no ha sido posible incluir las tablas de producción en esta comunicación.

La aplicación de claras a lo largo del ciclo productivo de la masa permite alcanzar diámetros superiores al final del turno, obteniéndose madera de mayor calidad y precio de mercado. En las tablas se obtiene a los 60 años un diámetro medio cuadrático de 25, 35,6 y 45,4 cm para las calidades 12, 18 y 24 respectivamente. En las tablas de producción de masas naturales en el Sistema Central (GARCÍA Y GÓMEZ, 1989) para esta misma edad y con un régimen de claras moderado se obtienen diámetros comprendidos entre 26,6 y 34,7 cm para alturas dominantes de 13,0 y 20,6 m a los 50 años, incrementando los diámetros a 28,3 y 37,3 respectivamente con un régimen de claras fuerte. Los crecimientos medios máximos obtenidos en las tablas de producción se sitúan en 3,6, 6,9, y 11,2 $m^3/ha\cdot a\tilde{no}$ para las calidades 12, 18 y 24 respectivamente. Estos crecimientos son algo inferiores a los encontrados en las tablas de esta especie en el Sistema Central, que para las calidades 13 y 20,6 indican crecimientos de 4 y 9,6 $m^3/ha\cdot a\tilde{no}$ (GARCÍA Y GÓMEZ, 1989).

PROPUESTA SELVÍCOLA

En la tabla 6 se proponen dos esquemas selvícolas para las repoblaciones de pino negral, uno para buenas calidades de estación donde haya un interés de producción de madera y otro para estaciones de calidad baja o zonas donde el objetivo prioritario sea la protección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO-OVIEDO A., DEL RÍO M. & MONTERO G.; 2004. Site index curves and growth model for Mediterranean maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Spain. *For. Ecol. and Man.*, 201: 187-197.
- CARMEAN W.H.; 1972. Site index curves for upland oaks in the Central States. *For. Sci.*, 18: 109-120.
- GARCÍA J.L. y GÓMEZ J. A.; 1989. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus pinaster* Ait. en el sistema central. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Forestales: 47, INIA, Madrid.
- HUANG, S.; 1997. Development of compatible height and site index models for young and mature stands within an ecosystem-based management framework. In: Amaro, A and Tomé, M. (Editors), *Empirical and process based models for forest tree and stand growth simulation*. Edições Salamandra, Oeiras.
- 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., ÁLVAREZ J.G., RODRÍGUEZ E. y ROJO A.; 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde Valle de Salazar, Madrid.
- M.A.P.A.; varios años. Anuario de Estadística Agraria.

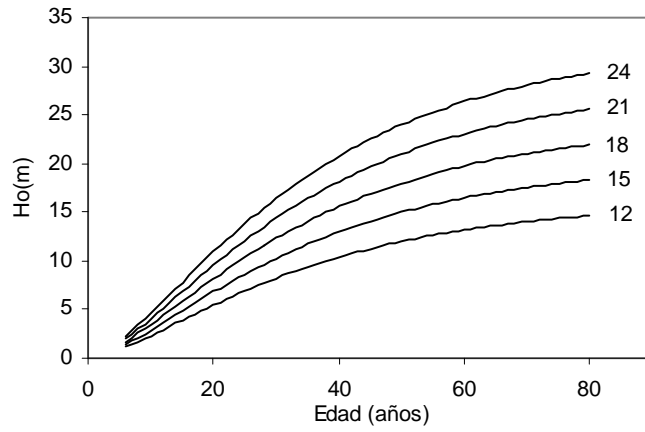


Figura 1: Curvas de calidad de estación para repoblaciones de *Pinus pinaster* (índice de sitio: altura dominante en m a los 50 años).

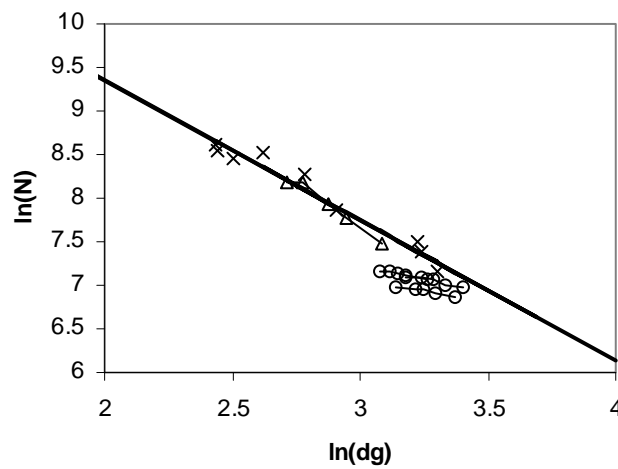


Figura 2: Recta de máxima densidad de Reineke; datos de las 10 parcelas en repoblaciones no aclaradas (cruces); datos de la parcela de máxima densidad de Fuencaliente (triángulos); y datos de las parcelas testigo de Fuencaliente (rombos).

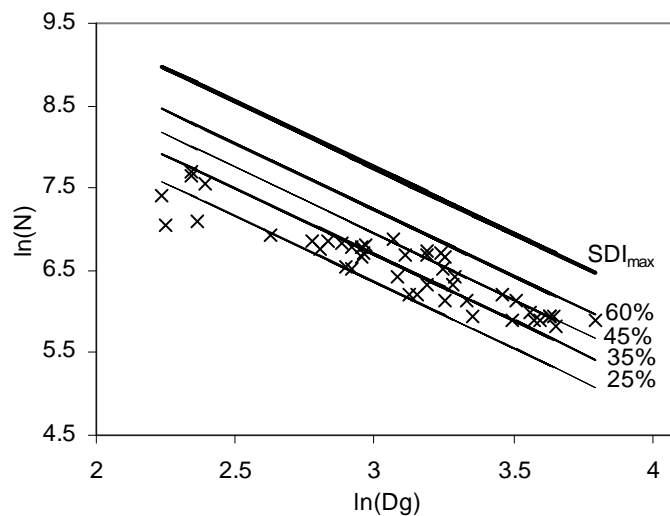


Figura 3: Recta de Reineke de máxima densidad (trazo grueso) y rectas del 25, 35, 45 y 60% de esta máxima densidad (trazo fino) junto a los datos de las parcelas medidas en repoblaciones de pino negral.

Tabla 1: Descripción de los valores medios por hectárea de las 45 parcelas temporales: media, desviación estándar, máximo y mínimo.

<i>n=45</i>	<i>e</i> (años)	<i>N</i> (pies/ha)	<i>Ho</i> (m)	<i>Hm</i> (m)	<i>Dg</i> (cm)	<i>Dm</i> (m)	<i>G</i> (m ² /ha)	<i>V</i> (m ³ /ha)
media	36,1	782,7	12,6	11,9	23,9	23,6	28,5	164,9
desv.estándar	13,4	445,7	4,4	4,4	9,0	9,0	10,6	99,6
mínimo	14,0	340,0	5,2	4,6	9,4	8,9	8,2	18,6
máximo	56,0	2200,0	22,2	21,0	44,5	44,5	56,1	449,0

e- edad; N- Número de pies; Ho- Altura dominante; Hm- Altura media; Dg- Diámetro medio cuadrático; Dm- Diámetro medio; G- Área basimétrica; V- Volumen.

Tabla 2: Valores medios de los cocientes Dg_e/Dg_{ac} Vm_e/Vm_{ac} en las distintas claras aplicadas en los sitios de ensayo del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino negral.

	Dg_e/Dg_{ac}			Vm_e/Vm_{ac}		
	Claras bajas débiles	Claras bajas moderadas	Claras bajas fuertes	Claras bajas fuertes	Claras bajas débiles	Claras bajas moderadas
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

Tabla 3: Peso en número de pies (PN%) según pesos en área basimétrica (PG%) obtenidos a partir de las claras aplicadas en los ensayos del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino negral.

		PG%				
		15	20	25	30	35
PN%	1ª clara	24	30	35	40	47
	2ª clara	20	25	30	35	40

Tabla 4: Índices de densidad de Reineke (SDI) observados tras la clara en los ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino negral.

Sitio de ensayo	Claras bajas débiles	Claras bajas moderadas	Claras bajas fuertes
	SDI (%SDI _{max})	SDI (%SDI _{max})	SDI (%SDI _{max})
El Vado		733 (45,1%)	678 (41,7%)
Atienza	756 (46,5%)	688 (42,3%)	551 (33,9%)
Fuencaliente		705 (43,4%)	617 (37,9%)

Tabla 5: Índices de Hart-Becking observados tras la clara en los ensayos de claras del CIFOR-INIA en repoblaciones de pino negral.

Sitio de ensayo	Claras bajas débiles	Claras bajas moderadas	Claras bajas fuertes
El Vado		26%	30%
Atienza	32%	36%	39%
Fuencaliente		25%	27%

Tabla 6: Esquema selvícola propuesto para repoblaciones de *Pinus pinaster*.

Calidades de estación altas (objetivo producción)				Calidades de estación bajas (objetivo protección)			
Claros				Claros			
Edad	Ndc	PG(%)	Tipo	Edad	Ndc	PG(%)	Tipo
0-20	1500		Clareo si N>1500 ¹⁾	0-25	1500		Clareo si N>1500 ¹⁾
20	850-900	30%	Semisistemática ²⁾	25-30	1000	25%	Semisistemática ²⁾
30	550-600	25-30%	Clara baja	40-45	600	25%	Clara baja
40	350-400	25-30%	Clara baja	55-60	400-450	25%	Clara baja
50	250-300	25%	Clara baja	80			Corta regeneración

Ndc- Número de pies por hectárea después de la clara; PG%- peso de la clara en porcentaje de área basimétrica extraída con respecto a la masa antes de la clara. 1) Poda baja; 2) Poda alta en 500 pies/ha en las mejores estaciones y donde tenga interés la producción de madera de calidad.