

ENSAYO DE CLARAS EN UNA MASA NATURAL DE *Pinus sylvestris* L. EN EL SISTEMA CENTRAL

G. MONTERO GONZÁLEZ ¹, M. DEL RÍO GAZTELURRUTIA ²,
C. ORTEGA MUELA ¹

¹ Dpto. de Selvicultura. CIFOR-INIA. Carretera de La Coruña, km 7. 28080 Madrid. España
montero@inia.es

² Dpto. de Producción Vegetal y Silvopascicultura. ETSIIAA de Palencia. Avda. de Madrid, 57.
34071 Palencia. España

RESUMEN

En una masa natural regular de pino silvestre de calidad de estación media situada en el Sistema Central se ha realizado un ensayo en el que se comparan cuatro tratamientos, tres regímenes de claras en los que varía la intensidad y un tratamiento testigo (masa no aclarada), mediante un diseño experimental de bloques al azar. En este trabajo se presentan los efectos de los distintos regímenes de claras en la producción en volumen total, así como en las características del árbol medio y en la estructura de la masa. Los resultados muestran que con las claras más intensas el volumen total es ligeramente inferior, aunque esta pérdida es pequeña en las primeras edades. Por otra parte, las características del árbol medio y de la estructura de la masa son más favorables cuanto más intensas han sido las claras. Con la aplicación de claras fuertes se obtienen mayores dimensiones y se eliminan los individuos dominados y con coeficientes de esbeltez elevados, mejorando la estabilidad y el vigor de la masa junto con su valor productivo.

PALABRAS CLAVE: Claras bajas
Intensidad de claras
Pinus sylvestris L.

INTRODUCCIÓN

El pino silvestre es una especie de gran importancia en el sector forestal español, tanto por la extensión que ocupan sus masas naturales y artificiales, como por las funciones productivas, ecológicas, protectoras y paisajísticas que desempeñan los montes de esta es-

Recibido: 5-11-99
Aceptado para su publicación: 18-2-2000

pecie. Para cumplir adecuadamente estas funciones se requiere un régimen de claras flexible y adaptado a cada circunstancia que permita optimizar las diferentes demandas sociales sin poner en riesgo la persistencia y estabilidad de la masa.

Además de los objetivos selvícolas definidos en cada monte, las características ecológicas y tecnológicas de la especie influyen a la hora de decidir el régimen selvícola, ya que de ella dependen aspectos tan importantes como la resistencia a daños, crecimiento de la masa principal, comercialización de los productos obtenidos en las claras, etc. Como corresponde a una especie de temperamento intolerante, el pino silvestre presenta un rápido crecimiento en sus fases juveniles, culminando su crecimiento corriente en volumen entre los 40 y 50 años según calidades de estación. Esta distribución del crecimiento refleja que las intervenciones más decisivas deben situarse en la primera mitad del turno, puesto que la capacidad de reacción a las claras de la masa principal es más acusada en masas jóvenes, como indican Burschel y Huss (1997) para el pino silvestre en Alemania.

Otro aspecto de la especie que condiciona su silvicultura es su baja resistencia a la acumulación de nieve en sus copas, que conlleva la rotura de fustes. En varios estudios que comparan la susceptibilidad a este tipo de daños en masas con distinta composición específica se concluye que los mayores daños se producen en masas monoespecíficas de coníferas, y dentro de las especies europeas, la mayor susceptibilidad se da en *Picea abies* L. seguida de *Pinus sylvestris* (Cremer *et al.*, 1983; Rottmann, 1985; Mangold y Spellmann, 1989; Polley, 1995). A pesar de que los riesgos de este tipo de daños en España no son excesivamente elevados, esporádicamente se producen fuertes nevadas que ocasionan daños, como las grandes pérdidas que se dieron en el Sistema Central en el invierno de 1996 (Montero *et al.*, 1997, Del Río *et al.*, 1997a). Con la realización de claras se modifica la estabilidad de la masa a través de sus efectos en la densidad y en el desarrollo de los árboles.

Dentro de los condicionantes ecológicos de la especie, también se deben considerar las frecuentes enfermedades, especialmente en edades avanzadas, producidas por los hongos *Phellinus pini* y *Cronartium flaccidum* (Rojo y Montero, 1996). La aparición de estas afecciones condiciona el turno de la masa y, en ocasiones, provocan que la masa se abra en exceso tempranamente. Desde el punto de vista de las claras, hay que tener presente que en la segunda mitad del turno se pueden producir este tipo de enfermedades que obliguen a extraer cierto número de individuos. Las masas de pino silvestre pueden sufrir además otros daños bióticos y abióticos, como plagas e incendios, que no se deben olvidar a la hora de programar las claras.

Tecnológicamente, la madera de pino silvestre es de mediana a alta calidad, por lo que con una silvicultura adecuada puede competir en el mercado con especies como el haya y los robles de calidad media (Montero *et al.*, 1996). Sin embargo, si no se logra madera apta para la obtención de chapa y tablón de primera en porcentajes suficientes, se sitúa en desventaja frente a otras especies de pinos de mayor crecimiento. La cantidad de madera apta para chapa varía con el grosor del árbol, situándose el límite inferior en 38-40 cm y aumentando el porcentaje por encima de esta clase diamétrica, con un máximo de 29 % entre los 65 y 70 cm de diámetro (Montero *et al.*, 1992). Por lo tanto, el objetivo tecnológico será obtener al final de turno árboles con diámetros superiores a 40 cm y de la mejor calidad posible.

La mayor parte de las investigaciones sobre claras en esta especie se han realizado en centroeuropa, existiendo experiencias de claras desde principios de siglo (Assmann,

1970). Todos estos estudios han contribuido al desarrollo de una serie de conceptos válidos para *Pinus sylvestris* en dicha región y que son la base de los principales regímenes de claras propuestos actualmente (Burschel y Huss, 1997). Esta silvicultura se puede resumir en: densidad inicial de la masa inferior a 10.000 pies/ha; claras fuertes en la fase de latizal, aprovechando la máxima capacidad de respuesta que presenta la especie en esta fase; selección temprana de árboles de porvenir y realización de podas en estos pies para obtener madera de alta calidad; llegar a la mitad de turno con un número de pies cercano a la densidad final, limitándose las intervenciones posteriores a la extracción de los árboles dominados o dañados. Dentro de estas tendencias existen varios modelos selvícolas que se diferencian fundamentalmente en la densidad inicial, edad de iniciación de las claras y número de pies a dejar en la segunda mitad del turno (Szymanski, 1986; Dittmar, 1988; Kramer y Rööös, 1989; Seibt, 1990).

En España, el comienzo de la aplicación generalizada de claras en pinares de silvestre fue más tardío, no contemplándose esta posibilidad hasta bien entrado el siglo XX. En nuestros días, esta práctica resulta cada vez más frecuente, realizándose claras en gran parte de los pinares gestionados. No obstante, no existía un modelo de claras general adaptado a esta especie, por lo que fue necesario estudiar más profundamente estas intervenciones. Con el objetivo de establecer normas selvícolas que permitan planificar y optimizar las intervenciones de claras en masas con características diferentes y de varias especies, entre ellas el pino silvestre, el Departamento de Silvicultura del INIA mantiene una red experimental de parcelas de claras desde 1968. Actualmente, parte de los resultados de esta red de ensayos de claras se encuentran publicados (Madrigal *et al.*, 1985; Gómez y Montero, 1989; Ortega *et al.*, 1997; Rfo *et al.*, 1997a; Montero *et al.*, 1999).

En este trabajo se analizan los resultados del sitio de ensayo «Pinar de Navafría» perteneciente a la red de parcelas de claras mencionada. El objetivo principal es estudiar los efectos de los distintos regímenes de claras en la evolución de la masa con el fin de determinar el régimen más idóneo atendiendo a criterios ecológicos, selvícolas y económicos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del sitio de ensayo

El presente ensayo de claras se ha desarrollado en el Pinar de Navafría, término municipal de Navafría (Segovia), a una altitud de 1.750 a 1.800 m, con orientación noroeste y pendientes suaves. Se trata de una masa regular procedente de regeneración natural con una edad media de 35 años en el momento de la instalación de la experiencia (1971). La densidad inicial era variable de unas parcelas a otras, oscilando entre los 4.874 árboles por hectárea como media en las parcelas sometidas al régimen de claras moderado (D) y los 6.486 árboles por hectárea correspondiente a la media de las tres parcelas sometidas al régimen débil de claras (C). La altura media oscilaba entre los 6,4 y 7,3 m y el diámetro medio cuadrático entre 9,3 y 10,0 cm. La calidad de estación es 23, según las curvas de calidad propuestas por Rojo y Montero (1996).

Diseño experimental

El diseño experimental del ensayo es en bloques completos al azar con tres bloques y cuatro tratamientos, con un total de 12 parcelas. El factor bloque se incluyó ante la posible variación en la masa debido a cambios en el medio (microcalidades de estación). Los tratamientos consisten en tres intensidades de claras que se comparan con un tratamiento testigo:

- *Testigo (A)*: No se realizan claras y sólo se cortan y extraen los pies muertos o moribundos, que se contabilizan como mortalidad natural.
- *Clara débil (C)*: Clara débil y por lo bajo que afecta casi exclusivamente a los árboles más delgados de la distribución diamétrica. En ocasiones puede afectar a árboles más gruesos si éstos están atacados por hongos, puntisecos, ahorquillados, torcidos o cuando la calidad comercial es muy baja. En la primera clara (1971) el área basimétrica queda reducida al 86 %, en la segunda (1981) al 78 % y en la tercera (1991) al 71 % respecto a la de las parcelas testigo.
- *Clara moderada (D)*: Clara moderada y por lo bajo que afecta a los árboles más delgados de la distribución diamétrica, a algunos árboles codominantes y en ocasiones a dominantes si tienen alguna de las características comentadas en el tratamiento anterior. El área basimétrica queda reducida al 72 % respecto a las parcelas testigos en la primera clara, y al 66 % y 58 % en la segunda y tercera clara.
- *Clara fuerte (E)*: Clara fuerte y por lo bajo que afecta a los árboles más delgados de la distribución diamétrica, aunque al tratarse de una clara fuerte afecta de forma importante a árboles codominantes y dominantes, por lo que toma ciertas características de clara mixta. En la primera clara el área basimétrica queda reducida al 59 % respecto a las parcelas testigos, en la segunda al 55 % y en la tercera al 48 %.

Instalación de las parcelas y toma de datos

La metodología seguida en la instalación de las parcelas corresponde a la desarrollada por la Forestry Commission (Hummel *et al.*, 1959). La superficie de las parcelas es de 1.000 m² (25 × 40 m) y cada parcela está rodeada de una franja de 10 m en la que se mantiene la misma densidad de árboles para evitar el efecto borde en los árboles situados en la zona perimetral de cada parcela. Todos los árboles están numerados y marcados a 1,30 m de altura para asegurar que el diámetro se mide siempre en el mismo punto.

Desde la instalación de la experiencia en 1971 se han realizado cinco inventarios en los años 1971, 1981, 1986, 1991 y 1996. La masa extraída de los años 1986 y 1996 corresponde exclusivamente a la mortalidad natural producida desde el anterior inventario, ya que en esos años no se realizó clara. La abundante mortalidad registrada en 1996 no se debe a la mortalidad natural propia de la densidad y edad de la masa, sino que se vio fuertemente incrementada por un fuerte vendaval de nieve y viento que rompió y arrancó numerosos árboles, sobre todo en las parcelas testigos y sometidas a claras débiles (Río *et al.*, 1997a).

En cada inventario se tomaron los siguientes datos: diámetro normal de todos los árboles, en dos direcciones perpendiculares; altura total medida con hipsómetro en

una muestra de 30 árboles por parcela, repartida proporcionalmente al número de pies por clase diamétrica a lo largo de la distribución diamétrica, para estimar la altura media; altura total de los 10 árboles más gruesos de cada parcela para estimar la altura dominante.

La estimación de las alturas de los árboles en los que no se mide directamente esta variable se ha realizado mediante un modelo ajustado que estima la altura en función del diámetro normal y la edad (Curtis, 1967). Este ajuste se realizó para cada parcela individualmente y asumiendo una edad común para toda la parcela, ya que se consideró que la estimación de la altura no justifica la medición de la edad de cada individuo en una masa regular. Se ajustaron un total de 12 ecuaciones de regresión según el modelo 1, en las cuales el coeficiente de determinación (R^2) es siempre mayor de 0,85.

$$ht = a_1 + a_2 \cdot \frac{1}{d} + a_3 \cdot \frac{1}{d} + a_4 \cdot \frac{1}{d \cdot t} \quad [1]$$

Donde:

ht = Altura total del árbol (m)
 t = Edad (años)
 d = Diámetro normal (cm)
 a_1, a_2, a_3, a_4 = Parámetros a estimar

Una vez calculada la altura total de cada árbol se estimó el volumen individual de todos los árboles mediante la tabla de cubicación de doble entrada (h, d) propuesta para esta especie por Martínez Millán *et al.* (1993).

Caracterización de las claras

Caracterización cuantitativa

El peso de clara se ha medido por el índice denominado área basimétrica residual ($AB_{res}\%$), que expresa el porcentaje de área basimétrica después de la clara, respecto al área basimétrica media de las parcelas testigos en la misma fecha. Este indicador cuantifica a través del área basimétrica las extracciones realizadas en cada clara, y es especialmente útil para estimar la intensidad de la clara cuando se han hecho varias intervenciones consecutivas, tal como sucede en este trabajo (Tabla 3). Para cuantificar cada clara con respecto a ese mismo tratamiento antes de la intervención se han incluido los pesos de cada clara expresados en porcentaje de masa extraída con respecto a la masa principal antes de la clara en número de pies (PN%), área basimétrica (PAB%) y volumen (PV%).

Caracterización cualitativa

Para caracterizar cualitativamente cada clara se han empleado dos índices: 1) el cociente entre diámetros ($Dge/Dgac$), en el que Dge y Dgac son los diámetros medios cuadráticos de la masa extraída y de la masa principal antes de la clara; 2) y el cociente entre volúmenes ($Vme/Vmac$) donde Vme y Vmac son los volúmenes del árbol medio extraído

y de la masa principal antes de la clara. El valor de ambos índices será menor que la unidad en las claras bajas, creciendo a medida que la clara afecta a árboles más gruesos por aumento del peso de la misma.

Otro índice cualitativo interesante para comprender mejor el efecto de la intensidad de la clara sobre el crecimiento en diámetro es el denominado «crecimiento técnico» (ItDg) que expresa el incremento que se produce en el valor del diámetro medio cuadrático de la masa principal por el mero hecho de realizar una clara baja.

Tratamiento estadístico de los datos

Se ha estudiado el efecto de los tratamientos en las principales variables de masa mediante análisis de varianza. No se ha empleado análisis de medidas repetidas, debido a que hemos comprobado que al analizar aisladamente cada inventario se aprecian mejor las diferencias entre tratamientos para cada edad y el efecto de cada clara aplicada independientemente del resto. Por otra parte, las intervenciones anteriores a un determinado inventario quedan reflejadas implícitamente en las variables de masa. El modelo matemático correspondiente al diseño de bloques completos al azar, en el que se asume que no existe interacción tratamiento por bloque, viene dado por la expresión:

$$X_{ij} = m + T_i + B_j + ek_{(ij)} \quad [2]$$

Donde:

- X_{ij} = Variable analizada
- m = Media general para dicha variable
- T_i = Desviación constante de la media debida al tratamiento, i varía entre 1 y 4
- B_j = Desviación constante de la media debida al efecto bloque, j varía entre 1 y 3
- $ek_{(ij)}$ = Error aleatorio de media 0 y varianza constante α^2 ($k = 1$, una repetición)

En todos los análisis de varianza realizados se han comprobado las hipótesis de independencia, normalidad y homogeneidad de la varianza u homoscedasticidad de los errores, realizándose cuando ha sido necesario transformaciones de variables para que se cumplan dichas hipótesis (Sabin y Stafford, 1990). Las pruebas utilizadas han sido el test de normalidad (W) de Shapiro y Wilk y el test de homogeneidad de la varianza de Levene. Cuando existen diferencias significativas entre tratamientos, el test de separación de medias empleado ha sido la prueba de rango múltiple de Duncan.

Dada la gran complejidad de la comparación de distribuciones diamétricas atendiendo a un diseño en bloques aleatorios, se ha realizado este estudio a través del comportamiento de los parámetros de la función Weibull. La estimación de estos parámetros se ha realizado con el método de los momentos, mediante el algoritmo dado por Burk y Burhart (1984). Es necesario mencionar la alta correlación existente entre los tres parámetros de la función Weibull, aspecto que limita la interpretación de los resultados al comportamiento de los parámetros, y no a las distribuciones obtenidas.

Debido a la variabilidad de las distribuciones diamétricas al inicio de la experiencia, las diferencias entre tratamientos en un inventario dado aportan poca información, ya que la distribución diamétrica final depende en gran medida de la situación inicial.

Por este motivo, se ha empleado análisis de varianza de medidas repetidas, que permite conocer el efecto del factor tiempo en la evolución de los parámetros. El modelo de medidas repetidas para un diseño en bloques completos aleatorios viene dado por la expresión:

$$X_{ij} = m + T_i + B_j + A_k + AT_{ik} + AB_{jk} + e_{(ij)} \quad [3]$$

Donde:

X_{ij}	=	Variable analizada
m	=	Media general para dicha variable
T_i	=	Desviación constante de la media debida al tratamiento, i varía entre 1 y 4
B_j	=	Desviación constante de la media debida al efecto bloque, j varía entre 1 y 3
A_k	=	Desviación constante de la media debida al tiempo
AT_{ik}	=	Desviación constante de la media debida a la interacción tiempo \times tratamiento
AB_{jk}	=	Desviación constante de la media debida a la interacción tiempo \times bloque
$e_{(ijk)}$	=	Error aleatorio

Los datos procedentes de medidas repetidas pueden ser analizados con las técnicas de análisis univariante siempre que se cumpla la hipótesis de simetría compuesta de la matriz de covarianza, es decir, se asume que dentro de una parcela las correlaciones son iguales. Para comprobar esta hipótesis se utiliza el test de Mauchly, en el que se debe obtener una probabilidad mayor al 0,05. Si no se cumple esta hipótesis, se procede a analizar su grado de violación a través de la ϵ de Huynh-Feldt (1970, en Moser, Saxton, 1990). Cuando ésta es próxima a la unidad y coinciden los valores corregidos de Huynh-Feldt y de Greenhouse-Geisser del análisis univariante, se acepta por válido este análisis (Potvin *et al.*, 1990). Si la ϵ de Huynh-Feldt es mucho menor de la unidad, la violación de la hipótesis es grande y es necesario recurrir al análisis multivariante. En este estudio de las distribuciones diamétricas ha sido posible aplicar análisis univariante.

Todos los análisis estadísticos efectuados en este trabajo se han realizado con el paquete estadístico SAS/STAT™(1988).

RESULTADOS

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los datos medios por tratamiento que resumen los resultados del ensayo. En la primera se describe la evolución de las variables de la masa principal antes y después de la clara, de la masa extraída y de la masa total; en la segunda los crecimientos medios, corrientes y relativos, y en la última se caracteriza cuantitativa y cualitativamente las claras realizadas.

La aplicación de claras en masas jóvenes produce importantes efectos selvícolas, que pueden diferenciarse en: efectos sobre la producción de la masa, efectos sobre el árbol y efectos sobre la distribución diamétrica. En este trabajo presentamos los resultados según esta clasificación.

TABLA 1

EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES DE MASA ENTRE LOS 35 Y 60 AÑOS (1971-1996). TRATAMIENTOS: A- TESTIGO (SIN ACLARAR); C- CLARA DÉBIL; D- CLARA MODERADA; E- CLARA FUERTE

Development of the main stand attributes from the age of 35 to 60 (1971-1996). Treatments: A- Control (unthinned); C- Light thinning; D- Moderate thinning; E- Heavy thinning

MASA PRINCIPAL ANTES DE LA CLARA										MASA EXTRAÍDA					MASA PRINCIPAL DESPUÉS DE LA CLARA					MASA TOTAL			
Trat	Edad	N.º/ha	Dg cm	Do cm	H m	Ho m	AB m²/ha	Vm dm³/pie	V m³/ha	N.º/ha	Dg cm	H m	AB m²/ha	Vm dm³/pie	V m³/ha	N.º/ha	Dg cm	H m	AB m²/ha	Vm dm³/pie	V m³/ha	AB m²/ha	V m³/ha
A	35	5.723	10,0	20,0	7,3	8,8	44,8	30,7	173,4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.723	10,0	7,3	44,8	30,7	173,4	44,8	173,4
	45	5.723	11,9	23,2	9,5	12,1	62,8	56,1	316,4	1.187	7,9	8,2	5,8	19,8	23,5	4.537	12,7	9,9	57,0	66,0	292,8	62,8	316,4
	50	4.537	13,6	25,1	10,8	13,5	65,6	83,6	370,1	1.137	8,3	8,8	6,4	24,4	27,6	3.400	14,9	11,5	59,2	100,3	342,5	71,3	393,6
	55	3.400	15,4	25,9	12,3	14,5	63,2	114,5	390,7	137	8,9	10,0	0,9	34,1	4,7	3.263	15,6	12,4	62,4	118,0	386,1	75,4	441,8
	60	3.263	16,4	27,3	13,2	15,4	69,3	139,3	455,6	1.213	13,7	12,4	18,2	92,4	115,4	2.050	17,9	13,7	51,1	167,7	340,3	82,3	511,4
C	35	6.486	9,3	19,4	6,8	8,6	43,0	25,0	158,4	1.163	6,8	6,1	4,3	12,2	14,4	5.323	9,7	7,0	38,7	28,1	144,0	43,0	158,4
	45	5.323	11,9	22,7	9,6	11,6	57,2	55,7	283,0	2.158	8,7	8,6	12,5	26,5	54,5	3.166	13,5	10,2	44,8	74,4	228,5	61,5	297,4
	50	3.166	14,7	24,5	11,3	12,8	53,0	96,6	296,6	139	9,1	9,3	0,9	30,6	4,2	3.026	14,9	11,3	52,1	99,1	292,4	69,8	365,5
	55	3.026	15,6	25,6	12,2	13,7	56,8	115,4	340,4	1.044	12,7	11,5	12,8	73,3	72,8	1.983	16,9	12,6	44,0	137,8	267,7	74,5	413,5
	60	1.983	18,0	26,4	13,4	14,5	50,3	166,8	323,7	467	15,3	12,9	8,7	116,5	53,9	1.515	18,8	13,5	41,6	181,6	269,8	80,7	469,5
D	35	4.874	9,8	20,3	6,6	8,4	36,5	27,3	131,3	1.048	7,3	5,9	4,4	13,4	14,1	3.826	10,4	6,8	32,1	31,0	117,2	36,5	131,3
	45	3.826	13,3	24,7	9,4	12,0	52,6	68,6	259,7	1.735	10,5	8,5	15,0	38,6	66,8	2.091	15,2	10,2	37,6	94,6	192,9	57,0	273,7
	50	2.091	16,7	26,7	11,5	13,4	45,5	126,8	259,0	33	10,6	9,3	0,2	46,0	1,1	2.057	16,8	11,5	45,2	128,1	257,9	64,8	339,9
	55	2.057	17,6	27,7	12,5	14,5	49,7	151,9	305,6	718	15,8	11,8	13,7	117,8	81,5	1.339	18,6	12,9	36,0	169,8	224,1	69,3	387,5
	60	1.339	20,0	28,5	13,9	15,4	41,8	211,2	279,0	272	16,5	13,1	5,7	136,2	35,6	1.067	20,8	14,1	36,2	230,1	243,4	75,1	442,4
E	35	4.898	9,7	20,2	6,4	8,7	35,4	26,1	125,4	1.859	8,0	5,7	9,2	16,2	29,4	3.039	10,5	6,8	26,3	32,1	95,9	35,4	125,4
	45	3.039	13,7	24,0	9,3	11,8	44,6	72,1	215,9	1.347	11,2	8,4	13,2	43,5	58,2	1.692	15,4	10,0	31,4	94,1	157,7	53,8	245,3
	50	1.692	17,1	25,9	11,2	13,0	38,7	128,0	214,6	3	11,5	9,3	0,0	47,1	0,2	1.689	17,1	11,3	38,6	128,1	214,5	61,0	302,3
	55	1.689	18,3	27,2	12,2	14,0	44,2	157,7	264,1	628	15,9	11,5	12,7	113,9	72,6	1.061	19,6	12,6	31,5	183,3	191,5	66,6	351,9
	60	1.061	21,3	28,9	13,6	14,9	37,3	231,6	242,1	73	19,2	13,2	2,1	183,8	13,4	988	21,5	13,7	35,2	238,4	228,7	72,4	402,5

N.º/ha: Número de pies por hectárea

Dg: Diámetro medio cuadrático

Do: Diámetro dominante

H: Altura media

Ho: Altura dominante

AB: Área basimétrica por hectárea

Vm: Volumen del árbol medio

V: Volumen por hectárea

TABLA 2
EVOLUCIÓN DE LOS CRECIMIENTOS ENTRE LOS 35 Y 60 AÑOS
(1971-1996). TRATAMIENTOS: A- TESTIGO (SIN ACLARAR);
C- CLARA DÉBIL; D- CLARA MODERADA; E- CLARA FUERTE

Development of the growth from the age of 35 to 60 (1971-1996). Treatments:
A- Control (unthinned); C- Light thinning; D- Moderate thinning; E- Heavy thinning

Trat	Edad	CRECIMIENTOS MEDIOS				CRECIMIENTOS CORRIENTES			
		ImDg cm/año	ImHg m/año	ImABT m ² /ha/año	ImVT m ³ /ha/año	IcDg cm/año	IcHg m/año	IcAB m ² /ha/año	IcV m ³ /ha/año
A	35	0,29	0,21	1,28	4,95				
	45	0,26	0,21	1,39	7,03	0,19	0,23	1,80	14,30
	50	0,27	0,22	1,43	7,87	0,18	0,19	1,71	15,44
	55	0,28	0,22	1,37	8,03	0,10	0,17	0,81	9,65
	60	0,27	0,22	1,37	8,52	0,17	0,16	1,38	13,91
C	35	0,26	0,19	1,23	4,53				
	45	0,26	0,21	1,37	6,61	0,21	0,26	1,86	13,90
	50	0,29	0,22	1,40	7,31	0,24	0,22	1,64	13,62
	55	0,28	0,22	1,35	7,52	0,13	0,17	0,94	9,61
	60	0,30	0,22	1,34	7,83	0,23	0,16	1,25	11,21
D	35	0,28	0,19	1,04	3,75				
	45	0,29	0,21	1,27	6,08	0,29	0,26	2,05	14,24
	50	0,33	0,23	1,30	6,80	0,30	0,25	1,57	13,22
	55	0,32	0,23	1,26	7,04	0,16	0,19	0,89	9,52
	60	0,33	0,23	1,25	7,37	0,29	0,20	1,17	10,99
E	35	0,28	0,18	1,01	3,58				
	45	0,31	0,21	1,20	5,45	0,32	0,26	1,83	12,00
	50	0,34	0,23	1,22	6,05	0,34	0,24	1,46	11,40
	55	0,33	0,22	1,21	6,40	0,24	0,20	1,11	9,92
	60	0,36	0,22	1,21	6,71	0,34	0,20	1,16	10,12

ImDg: Crec. medio en diámetro

Im Hg: Crec. medio en altura

ImABT: Crec. medio en área basimétrica total

ImVT: Crec. medio en volumen total

IcDg: Crec. corriente en diámetro

IcHg: Crec. corriente en altura

IcAB: Crec. corriente en área basimétrica

IcV: Crec. corriente en volumen

Efectos de la intensidad de la clara sobre la producción de la masa

El área basimétrica y el volumen de la masa principal después de la clara serán menores cuanto más intenso sea el régimen de claras aplicado, pues lógicamente se extrae mayor porcentaje de la masa principal. Para analizar si la producción de la masa varía entre los distintos regímenes de claras es necesario estudiar los crecimientos corrientes en área basimétrica y en volumen, ya que reflejan la verdadera producción de la masa desde el comienzo del ensayo. Se ha realizado análisis de varianza para estos dos crecimientos y se ha encontrado que no existen diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los cuatro intervalos.

Otra variable de gran interés en el estudio de la producción de la masa es el volumen total, definido como el volumen actual más la suma de los volúmenes extraídos hasta el

TABLA 3

**CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA DE LAS CLARAS.
TRATAMIENTOS: A- TESTIGO (SIN ACLARAR); C- CLARA DÉBIL;
D- CLARA MODERADA; E- CLARA FUERTE**

Quantitative and qualitative characteristics of thinning. Treatments: A- Control (unthinned); C- Light thinning; D- Moderate thinning; E- Heavy thinning

Trat	Edad	CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA					CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA			
		ABres %	HARTa.c. %	HARTd.c. %	PN %	PAB %	PV %	Dge/Dga.c.	Ve/Va.c.	ItDg cm
A	35	100,00	15,62	15,62	0,00	0,00	0,00			0,00
	45	100,00	11,30	12,71	20,92	9,20	7,41	0,66	0,36	0,86
	50	100,00	11,48	13,28	23,22	9,82	7,91	0,61	0,30	1,24
	55	100,00	12,36	12,57	3,60	1,22	1,01	0,58	0,28	0,20
	60	100,00	11,80	14,93	36,97	25,84	24,54	0,83	0,66	1,43
C	35	86,00	15,06	16,69	18,27	9,94	8,86	0,74	0,49	0,48
	45	78,00	12,34	15,93	39,87	21,78	19,52	0,74	0,48	1,66
	50	88,00	14,50	14,83	4,22	1,75	1,53	0,62	0,36	0,19
	55	71,00	13,84	17,14	34,18	22,54	21,44	0,81	0,63	1,33
	60	81,00	16,17	18,57	23,55	17,24	16,72	0,84	0,70	0,74
D	35	72,00	17,81	20,06	21,37	11,92	10,62	0,74	0,49	0,57
	45	66,00	14,03	19,02	45,52	28,47	25,62	0,79	0,56	1,97
	50	76,00	17,04	17,19	1,55	0,52	0,41	0,62	0,33	0,08
	55	58,00	15,88	19,79	34,51	27,52	26,67	0,90	0,77	0,92
	60	71,00	18,44	20,66	20,16	13,63	12,87	0,82	0,64	0,80
E	35	59,00	17,17	21,87	37,83	25,84	23,49	0,83	0,62	0,89
	45	55,00	16,04	21,43	44,00	29,54	27,00	0,82	0,61	1,67
	50	65,00	19,42	19,44	0,18	0,09	0,08	0,71	0,42	0,02
	55	48,00	18,07	22,95	37,43	28,46	27,19	0,87	0,72	1,27
	60	69,00	21,52	22,53	7,86	5,87	5,67	0,88	0,76	0,26

ABres: área basimétrica residual con respecto al testigo

HARTa.c.: Índice de Hart antes de la clara

HARTd.c.: Índice de Hart después de la clara

PN: Peso de la clara en número de pies

PAB: Peso de la clara en área basimétrica

PV: Peso de la clara en volumen

Dge/Dgac: Cociente del Dg de la masa

extraída entre el Dg antes de la clara

Ve/Vac: Cociente del V de la masa

extraída entre el Dg antes de la clara

ItDg: Crecimiento técnico en diámetro

medio cuadrático

momento. Los resultados del análisis de varianza para el volumen total (Tabla 4) indican que existen diferencias significativas entre tratamientos, pero estas diferencias tienen lugar desde el primer inventario, por lo que *a priori* no implican una menor producción en los regímenes de claras más intensos. En el primer inventario el volumen total variaba desde 173 m³/ha en las parcelas testigo hasta 125 m³/ha en las parcelas con claras más intensas, luego existía una diferencia de 48 m³/ha entre las medias (Tabla 1). En el último inventario los valores son de 511 m³/ha en el tratamiento testigo y de 402 m³/ha en el tratamiento más fuerte (E), con una diferencia de 109 m³/ha. Según estas cifras, el crecimiento del volumen total desde el primer inventario al último presenta una ligera disminución a medida que aumenta la intensidad de la clara, creciendo un 7,9 % menos el tratamiento E que el testigo.

TABLA 4

ANÁLISIS DE VARIANZA Y RESULTADOS DEL TEST DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE DUNCAN PARA EL VOLUMEN TOTAL

Analysis of variance and Duncan's tests of differences between means on total yield

Variable	Inv.º 1	Inv.º 2	Inv.º 3	Inv.º 4	Inv.º 5
Volumen total	** A C D E ¹	* A C D E	* A C D E	* A C D E	* A C D E

1) Nivel de significación del análisis de varianza: n.s. no significativo; * significativo al 5 %; ** significativo al 1 %; *** significativo al 0,1 %.

El estudio de la variación del crecimiento en volumen con los distintos tratamientos se puede abordar mediante las áreas basimétricas óptima, máxima y crítica definidas por Assmann (1970). El área basimétrica máxima es la correspondiente a las parcelas testigo en las que no se ha intervenido, la óptima es el área basimétrica con mayor crecimiento en volumen y la crítica es el área basimétrica con la que se pierde un 5 % de crecimiento en volumen con respecto al crecimiento del área basimétrica máxima.

En la Figura 1 se ha representado el crecimiento corriente, en volumen expresado en tanto por ciento del crecimiento de las parcelas testigo para cada intervalo de tiempo y tratamiento frente al área basimétrica residual, expresada como porcentaje del área basimétrica máxima, para los cuatro intervalos disponibles. Debido a que para cada intervalo sólo se dispone de tres datos (tratamientos C, D y E), no se pueden conocer con exactitud las áreas basimétricas óptima y crítica, aunque sí se puede indicar entre qué cifras se tienen que encontrar. En el intervalo entre los 50 y 55 años se observa que el crecimiento en volumen relativo es mucho mayor que en el resto, rompiendo la tendencia de los otros intervalos y, sin embargo, se produce un descenso del crecimiento corriente en volumen (Tabla 2). Este comportamiento indica que en esta fase de bajo crecimiento, el descenso del crecimiento corriente es más acusado en las parcelas testigos, lo que produce un aumento del crecimiento en volumen relativo en el resto de los tratamientos. Si se prescinde de este tercer intervalo claramente anómalo, se observa que según aumenta la edad de la masa las áreas basimétricas óptima y crítica son mayores. Estas cifras reflejan que en los tratamientos D y E y en las edades más avanzadas se pierde producción en volumen con respecto a las parcelas testigos. En el primer intervalo el área basimétrica crítica debe estar situada entre el 60 y el 70 % (entre el tratamiento D y E), mientras que en el segundo y cuarto intervalo por encima del 80 % (con un área basimétrica superior a la del tratamiento C), pues con este ya se pierde más del 8 % de crecimiento en volumen.

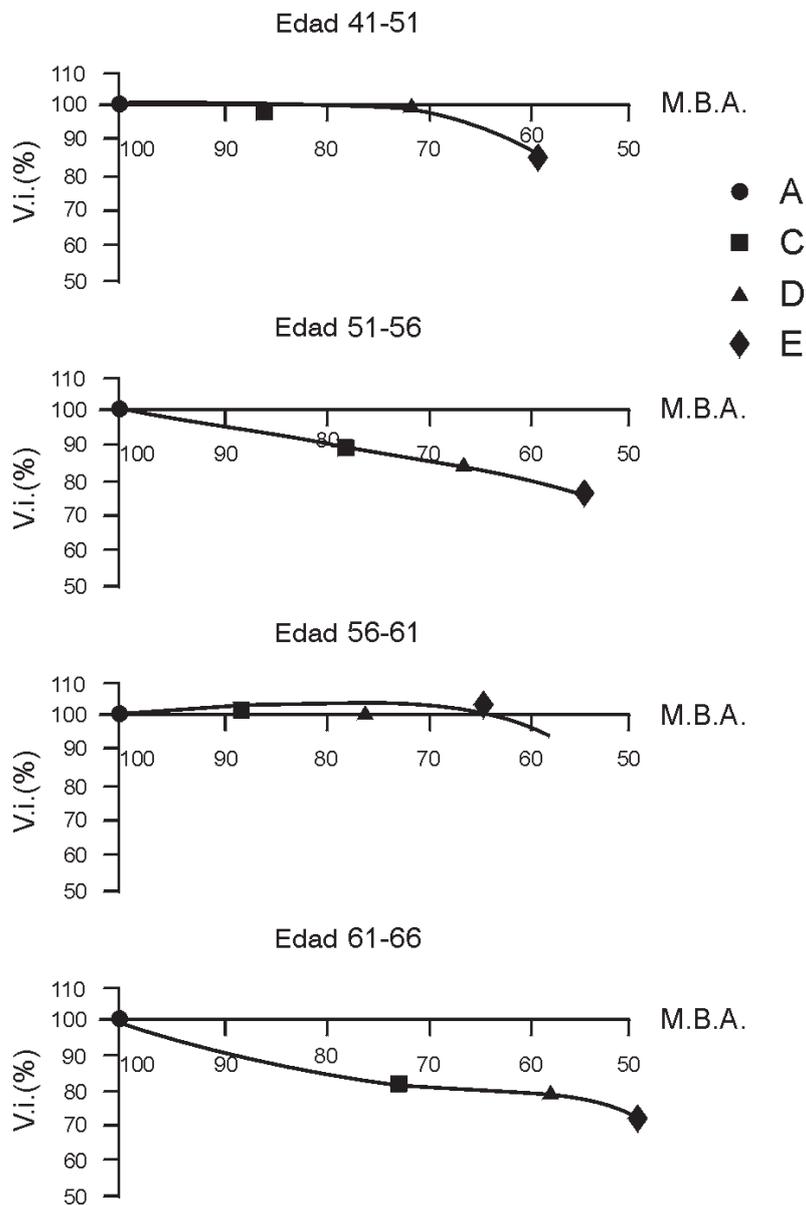


Fig. 1.—Variación del crecimiento corriente en volumen, expresado en tanto por ciento del crecimiento de las parcelas testigo, con el área basimétrica residual. Origen (100,100): tratamiento A: control; C: clara débil; D: clara moderada; E: clara fuerte

Volumen increment expressed as percentage of the increment of the control treatment according to residual basal area. Treatment C: grey colour; treatment A: control; C: light thinning; D: moderate thinning; E: heavy thinning

Características del árbol medio

En el estudio del efecto de las claras en las características del árbol medio se han analizado el diámetro medio cuadrático, la altura media, el volumen del árbol medio y la esbeltez media. A estas variables se han añadido el diámetro y la altura dominante, que a pesar de no representar al árbol medio tienen interés por reflejar otros aspectos de la masa. En la Tabla 5 se exponen los resultados del análisis de varianza y del test de comparación de medias de Duncan para estas variables, con excepción del diámetro dominante y de las alturas media y dominante, ya que no existen diferencias significativas entre tratamientos en ningún inventario. En el último inventario no se incluyen los resultados de la masa después de la clara porque corresponden a la masa dañada por el temporal de nieve, resultados analizados en Río *et al.* (1997b).

TABLA 5

ANÁLISIS DE VARIANZA Y RESULTADOS DEL TEST DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE DUNCAN PARA EL Dg, Vm y h/d

Analysis of variance and Duncan's tests of differences between means on Dg, Vm, and h/d

Variable	Tipo ¹⁾	Inv.º 1	Inv.º 2	Inv.º 3	Inv.º 4	Inv.º 5
Diámetro medio cuadrático (Dg)	a.c.	n.s. ²⁾	n.s.	* <u>E D C A</u>	* <u>E D C A</u>	* <u>E D C A</u>
	d.c.	n.s.	n.s.	n.s.	* <u>E D C A</u>	* <u>E D C A</u>
Volumen del árbol medio (Vm)	a.c.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	* <u>E D C A</u>
	d.c.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Esbeltez media (h/d)	a.c.	n.s.	*** <u>A C D E</u>	*** <u>A C D E</u>	** <u>A C D E</u>	*** <u>A C D E</u>
	d.c.	* <u>A C D E</u>	*** <u>A C D E</u>	** <u>A C D E</u>	*** <u>A C D E</u>	*** <u>A C D E</u>

1) a.c.: Antes de la clara; d.c.: Después de la clara.

2) Nivel de significación del análisis de varianza: n.s. no significativo; * significativo al 5 %; ** significativo al 1 %; *** significativo al 0,1 %.

Al inicio del ensayo no existían diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las variables, luego las características iniciales eran similares. En el diámetro medio cuadrático no aparecen diferencias significativas hasta el tercer inventario, es decir, tras la realización de la segunda clara. A partir de este inventario existen siempre diferencias significativas, siendo mayor el diámetro medio cuadrático cuanto más intenso es el régimen de claras. Se ha representado en la Figura 2 la evolución del diámetro medio cuadrático promedio de cada tratamiento, reflejando el efecto de los distintos regímenes de claras en esta variable. A los 60 años este diámetro varía entre los 17,9 cm de las parcelas testigos y los 21,3 cm de las parcelas sometidas a una régimen de claras fuerte (E).

Las claras bajas hacen aumentar, lógicamente, el diámetro medio cuadrático de la masa principal. Este incremento es mayor en las claras más intensas por dos motivos: por un lado, los árboles que se desarrollan más espaciados crecen más en diámetro al concentrarse el crecimiento de la masa en menos individuos; y por otro, a medida que aumenta la

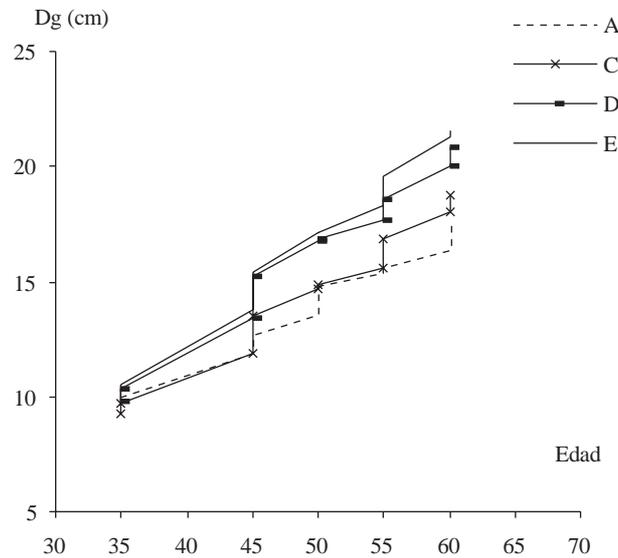


Fig. 2.—Evolución del diámetro medio cuadrático según tratamientos
Mean square diameter development according to treatments

intensidad de la clara, la masa extraída incluye más árboles gruesos, lo que hace que el diámetro medio después de la clara sea mayor (crecimiento técnico). El primer aspecto es uno de los objetivos que se persiguen al realizar una clara y para poder evaluarlo es necesario analizar el crecimiento corriente en diámetro, que refleja el verdadero efecto de las claras en el aumento en diámetro. En la Tabla 6 se presentan los resultados de los análisis de varianza de cada uno de los intervalos entre inventarios para el crecimiento corriente en diámetro. Según estos resultados, en todos los inventarios existen diferencias significativas entre tratamientos, siendo mayor el crecimiento corriente en diámetro cuanto más intensas son las claras (Tabla 2).

El volumen del árbol medio sigue una evolución similar a la del diámetro medio cuadrático, a mayor intensidad de claras mayores volúmenes medios. En esta variable las diferencias entre tratamientos son menores, no siendo significativas hasta el último inventario (Tabla 5).

Por último, en la esbeltez media, las diferencias entre tratamientos comienzan a ser significativas después de la primera clara, siendo menor dicha variable cuanto mayor es la intensidad del régimen de claras aplicado. En la Figura 3 se ha representado la evolución de la esbeltez media por tratamiento, donde se observa que con la mayor intensidad de las claras y cuantas más claras se hayan realizado menor es la esbeltez media, mientras que en el tratamiento testigo la esbeltez aumenta con la edad.

TABLA 6
ANÁLISIS DE VARIANZA Y RESULTADOS DEL TEST DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DE DUNCAN PARA EL CRECIMIENTO CORRIENTE EN DIÁMETRO

Analysis of variance and Duncan's tests of differences between means on current diameter increment

	Inventario 1.º-2.º	Inventario 2.º-3.º	Inventario 3.º-4.º	Inventario 4.º-5.º
Crecimiento corriente en Dg	** <u>E D C A</u> ¹⁾	*** <u>E D C A</u>	* <u>E D C A</u>	** <u>E D C A</u>

1) Nivel de significación del análisis de varianza: n.s. no significativo; * significativo al 5%; ** significativo al 1%; *** significativo al 0,1 %.

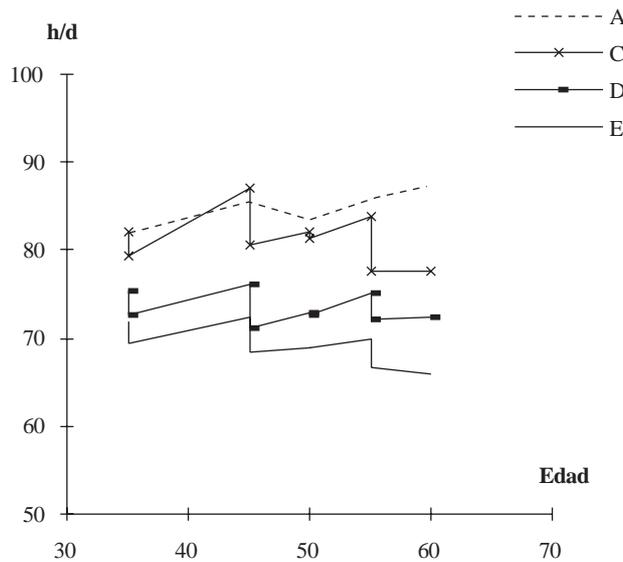


Fig. 3.-Evolución de la esbeltez media según tratamientos
H/d ratio development according to treatments

Estructura de la masa

Para analizar el efecto de los distintos regímenes de claras en las distribuciones diamétricas, se ha realizado un análisis univariante de medidas repetidas para los tres parámetros de la función Weibull (Tabla 7), que previamente se han calculado para cada parcela e inventario. Los parámetros se han obtenido para la masa principal antes y después de la clara (Tabla 8) y se han utilizado los valores antes de la clara en el análisis de medidas repetidas.

TABLA 7

ANÁLISIS UNIVARIANTE DE MEDIDAS REPETIDAS PARA LOS TRES PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL (a, b, c)

Repeated measure univariate analysis on the three parameters of the Weibull function

Fuentes de variación	Parámetro "a"	Parámetro "b"	Parámetro "c"
Bloque	n.s. ¹	n.s.	n.s.
Tratamiento	0,0005	n.s.	0,0010
Tiempo	0,0001	0,0001	0,0001
Tiempo × Bloque	n.s.	n.s.	n.s.
Tiempo × Tratamiento	0,0001	0,0008	0,0001

1 n.s. no significativo

En la Tabla 7 se observa que para el parámetro «a» (parámetro de localización de la distribución) existen diferencias significativas al 1 % entre tratamientos, es decir, el valor de este parámetro varía con las distintas intensidades de claras. El efecto tiempo y la interacción tiempo × tratamiento son significativos al 0,1 %, indicando que este parámetro varía con el transcurso del tiempo, y que esta variación es significativamente diferente en los distintos regímenes de claras. Observando los valores de este parámetro en la Tabla 8, se comprueba que aumenta con la edad, incluso en las masas no aclaradas, y con la intensidad de las claras. Este parámetro se ha calculado como función del diámetro mínimo de la masa, luego lógicamente, si las claras realizadas han sido siempre por lo bajo o mixtas, el diámetro mínimo aumenta con la intensidad de las claras y con el número de claras realizadas, y por lo tanto, el parámetro «a».

Para el parámetro «b» no existen diferencias entre tratamientos, reflejando que este parámetro no depende de las claras aplicadas (Tabla 7). Sin embargo, el efecto tiempo y la interacción tiempo × tratamiento son significativos, indicando que este parámetro varía según avanza la edad de la masa de manera diferente en cada tratamiento.

El parámetro «c» (parámetro de forma) presenta diferencias significativas entre tratamientos, así como en el efecto tiempo y la interacción tiempo × tratamiento. Este parámetro varía con la edad, y esta variación difiere según el régimen de claras. Todos los tratamientos parten en el primer inventario de valores inferiores a 3,6, es decir, con simetrías positivas típicas de masas jóvenes no intervenidas (Tabla 8). En las claras bajas y mixtas, los individuos extraídos corresponden principalmente a las clases diamétricas inferiores, por lo que la simetría se torna negativa. Cuanto mayor sea el número de claras realizadas, mayor es el valor de «c», ya que el aumento del parámetro se produce sobre todo como consecuencia de la clara. Si no se interviene, apenas aumenta este parámetro con la edad, como se puede observar en el tratamiento testigo.

TABLA 8
MEDIAS POR TRATAMIENTO DE LOS PARÁMETROS
DE LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL

Mean by treatments of the Weibull distribution parameters

Inv.º	Parámetro "a"				Parámetro "b"				Parámetro "c"			
	A	C	D	E	A	C	D	E	A	C	D	E
1.º ac	2,18	2,17	2,27	2,35	8,18	7,41	7,88	7,64	2,27	2,27	2,29	2,25
1.º dc	2,18	2,28	2,45	2,58	8,18	7,84	8,33	8,41	2,27	2,40	2,41	2,48
2.º ac	2,63	2,88	2,88	3,15	10,64	9,86	11,27	11,34	2,56	2,58	2,72	2,90
2.º dc	2,63	3,52	3,73	3,98	10,64	10,70	12,30	12,25	2,56	3,07	3,23	3,50
3.º ac	2,63	3,63	4,15	4,50	11,56	11,84	13,48	13,51	2,45	3,09	3,24	3,65
3.º dc	3,23	3,85	4,57	4,50	12,39	11,83	13,14	13,52	2,94	3,18	3,19	3,66
4.º ac	3,22	3,92	4,53	4,68	12,94	12,46	14,04	14,59	2,92	3,14	3,25	3,77
4.º dc	3,40	5,28	5,43	6,53	12,99	12,48	14,10	14,00	3,01	3,64	3,82	4,05
5.º ac	3,43	5,60	5,95	7,02	13,83	13,38	15,11	15,32	2,93	3,60	3,80	4,26
5.º dc	4,37	5,70	6,27	7,32	14,44	14,06	15,62	15,28	3,18	3,90	4,13	4,32

DISCUSIÓN

Uno de los principales aspectos estudiados tradicionalmente en las experiencias de claras es la producción en volumen, existiendo cierta controversia sobre si las claras modifican la producción total de la masa. Para interpretar correctamente los resultados de este trabajo, hay que tener presente que al inicio de la experiencia existían diferencias significativas en el volumen total entre las parcelas de los distintos tratamientos, pudiendo influir en la evolución futura de la masa. Asumiendo que no hay diferencias en la calidad de estación porque en ninguna variable es significativo el efecto bloque y la altura dominante no varía entre tratamientos, las diferencias iniciales tienen que ser debidas a una distinta evolución anterior a la experiencia. Caben dos posibilidades: si estas diferencias iniciales se debieran a una menor densidad del regenerado, el menor volumen total inicial indicaría que las parcelas menos densas han aprovechado peor la capacidad de producción de la estación; y si se debiera a distintas mortalidades entre tratamientos, necesitaríamos conocer el volumen perdido por mortalidad para poder comparar el volumen total. En cualquier caso, la comparación en crecimiento corriente desde el inicio de la experiencia es válida, ya que nos interesa saber si en masas que se desarrollan con menor densidad se produce una pérdida de producción en el intervalo que se está estudiando.

Según los resultados obtenidos en los análisis de varianza no existen diferencias en crecimiento corriente en área basimétrica y en volumen, luego dentro del intervalo de edades analizado y con las intensidades de claras ensayadas la pérdida de volumen no es significativa. En varias experiencias de claras en masas de pino silvestre europeas sí se han observado diferencias en crecimiento corriente en volumen, encontrando que cuando se aplicaban claras muy fuertes, este crecimiento se veía reducido (Näslund, 1936, cit. en Assmann, 1970; Hummel, 1950; Vuokila, 1962; Dittmar, 1991). Este hecho se explica porque en los regímenes de clara más intensos se produce una menor ocupación de la estación durante los

primeros años que siguen a cada clara. Observando los valores medios de los crecimientos corrientes en volumen en los cuatro tratamientos se aprecia una ligera tendencia a una disminución del crecimiento cuando aumenta la intensidad de las claras (Tabla 2). En el tercer intervalo, entre los 50 y 55 años, se produce una excepción a la tendencia mencionada debida a un descenso brusco del crecimiento que fue menos acusado en el tratamiento más intenso (tratamiento E). Este comportamiento indica que las masas más fuertemente aclaradas se vieron menos afectadas en un período adverso de bajo crecimiento en volumen, probablemente causado por la fuerte sequía reinante en aquellos años.

En la Figura 1 queda reflejado que aunque las diferencias en crecimiento corriente en volumen no son estadísticamente significativas, en las masas más fuertemente intervenidas el crecimiento es menor que en las parcelas no aclaradas. Las áreas basimétricas críticas estimadas en los intervalos 2.º y 4.º en este ensayo de claras coinciden con el intervalo de área basimétrica crítica que propone Assmann (1970) para esta especie, 80-90 %. Sin embargo, en experiencias con masas jóvenes, hasta 45 años, se ha citado como área basimétrica crítica valores entre el 65 y 85 % del área basimétrica máxima (Erteld, 1960; Chroust, 1979; Kramer y Jünemann, 1984; Kramer y Rös, 1989), quedando dentro de estas cifras el área basimétrica crítica obtenida para el primer intervalo en el presente ensayo (Fig. 1). En otras experiencias de claras en los Sistemas Central e Ibérico se ha observado similar variación del área basimétrica crítica con la edad (Río, 1998). De acuerdo con estos resultados, en las edades tempranas la masa tiene una buena capacidad de reacción a la clara y no se pierde apenas producción, mientras que en edades avanzadas, si las claras son fuertes, se pierde más de un 5 % de crecimiento en volumen con respecto a las masas no intervenidas. No obstante, la pérdida de producción total debida a las claras siempre será menor que el volumen perdido por mortalidad natural en masas no aclaradas. Por lo tanto, este área basimétrica crítica puede sobrepasarse siempre que no existan limitaciones selvícolas y ecológicas, como invasión de matorral, regeneración adelantada, aumento de la escorrentía superficial, etc. Una selvicultura de grandes espaciamientos sólo estará justificada en especies productoras de madera de calidad y con gran capacidad productiva, que necesite alcanzar elevadas dimensiones para su aprovechamiento como madera de chapa, tal como sucede en las estaciones de buena calidad de *Pinus sylvestris*.

Desde un punto de vista selvícola es interesante determinar cuál debe ser el área basimétrica de la masa principal a diferentes edades para cumplir un objetivo selvícola predefinido, como puede ser el diámetro medio de la masa a un turno dado o qué porcentaje de árboles nos interesa que hayan sobrepasado un diámetro determinado a ese turno, por ejemplo 50-55 cm, tamaño a partir del cual comienza a producirse madera apta para chapa en un porcentaje económicamente interesante. Según los datos de ésta y otras experiencias (Rojo y Montero, 1996; Río *et al.*, 1997a, Río, 1998), podría decirse que el área basimétrica para una masa de pino silvestre de calidad media-alta debe oscilar entre los 25 m²/ha después de la clara a los 25-30 años, e ir creciendo hasta alcanzar los 50-55 m²/ha al final de turno. En esta experiencia del Pinar de Navafría, sobre una masa de calidad media, las áreas basimétricas han oscilado entre los 45 m²/ha al inicio de la experiencia (35 años) y los 62 m²/ha a los 55 años como media de las parcelas testigos, y los 26 m²/ha y 31 m²/ha a las mismas edades como media de las parcelas sometidas a claras más fuertes (tratamiento E).

En lo que se refiere a la altura dominante, una vez más se demuestra que las claras por lo bajo no tienen efecto sobre ella. Esto indica que, al tratarse de árboles dominantes, sufren muy poco la competencia de sus vecinos y su crecimiento en altura no se ve afecta-

do. Este hecho, contrastado en numerosas ocasiones y que se mantiene en la práctica totalidad de las especies, ha hecho que la altura dominante sea considerada como indicador no sesgado de la calidad de estación o capacidad productiva de la especie.

De acuerdo con los resultados, tampoco existen diferencias entre tratamientos para la altura media. Esta altura crece con la intensidad de la clara como consecuencia de haber extraído los árboles más delgados, que suelen corresponder con los dominados, pero esta diferencia no es estadísticamente significativa. En masas muy regulares y homogéneas y en masas procedentes de siembra o plantación, la altura suele variar poco con el diámetro, lo que en ocasiones hace que, aún habiéndose practicado claras por lo bajo, la altura media no varía significativamente. En la experiencia que nos ocupa, por tratarse de una masa procedente de regeneración natural muy homogénea y que partió en sus primeras edades de densidades muy altas, se ha producido una fuerte mortalidad natural. Obsérvese que las parcelas testigo (A) pasan de una media de 5.723 árboles por hectárea a los 35 años a 3.262 a los 55 años, sin contabilizar los muertos en 1996 (a los 60 años) como consecuencia del derribo por nieve. Con anterioridad a los 35 años de edad, fecha en que se instalaron las parcelas y a partir de la cual tenemos contabilizada la mortalidad natural, se debió de producir con toda seguridad una mortalidad media superior a la registrada en los últimos 25 años, pues es frecuente que estas masas procedentes de regeneración natural comiencen con densidades superiores a 10.000-15.000 árboles por hectárea hasta los 10-15 años. Esta fuerte competencia hace que a la edad de 30-35 años la práctica totalidad de los árboles dominados, muy comprimidos y sumergidos hayan muerto; los que quedan, aunque sean delgados, tienen la parte superior de su pequeña copa casi en el mismo piso que los árboles codominantes y dominantes, y si se mantienen vivos, aunque tengan un crecimiento en diámetro mucho menor, es porque tienen esta parte de la copa no asombrada o dominada por árboles de mayor vigor. Estos árboles van muriendo poco a poco o se van extrayendo en las claras bajas y, como su altura es muy poco o nada inferior a las de sus vecinos, su desaparición no afecta apenas a la altura media. Esta pauta se mantiene a lo largo de la vida de estas masas de pino silvestre y es quizá el principal motivo por el cual se dice que las masas de esta especie tienden a «regularizarse» con el paso del tiempo. Es decir, la fuerte diferenciación de clases sociológicas se produce en las primeras edades, y a partir de los 30-40 años, cuando suelen comenzar las claras bajas, éstas ayudan a la regularización, que se hace cada vez más patente.

Dentro de los numerosos objetivos de las claras, uno de los más importantes es conseguir árboles con mayores dimensiones con el fin de aumentar la calidad de los productos obtenidos de la masa. En la Tabla 1 queda reflejado el mayor diámetro medio cuadrático y mayor volumen del árbol medio en los regímenes de claras más intensos. Ahora bien, al tratarse de claras bajas, este crecimiento se debe en parte al crecimiento técnico producido al eliminar de la masa los individuos más delgados y dominados. Por este motivo, es en el crecimiento corriente en diámetro donde mejor se observa el efecto de la clara, comprobándose que cuanto mayor es la intensidad de la clara mayores crecimientos se producen (Tabla 6). Este hecho, que parece trivial, tiene importantes consecuencias selvícolas de tipo práctico, pues permite concentrar toda la capacidad productiva de la estación en los árboles más gruesos y de mejor calidad, ya que habitualmente han sido seleccionados por sus mejores características tecnológicas. Si, como es frecuente, el turno final del pino silvestre se determina atendiendo a criterios tecnológicos, las claras fuertes ayudan a acortar el turno en 20-25 años con respecto a las masas poco intervenidas o sometidas a claras débiles (Montero *et al.*, 1992; Rojo y Montero, 1996).

Por otra parte, la ausencia de diferencias significativas en el diámetro dominante entre las diferentes intensidades de claras indica que las claras realizadas no estimulan el crecimiento de los pies dominantes, como ya encontró Voukila (1962) en masas finlandesas. Kramer y Rööös (1989) estudiaron mediante análisis de regresión el efecto del diámetro inicial de cada individuo en su crecimiento tras una clara, obteniendo que cuanto mayor es la clase diamétrica, menos diferencias hay entre las distintas intensidades de claras. Según estos resultados, las claras bajas favorecen el desarrollo de los árboles intermedios.

La esbeltez media es considerada por numerosos autores como el mejor indicador de la estabilidad de la masa (Cantiani, 1989; Cremer *et al.*, 1983; Vidulich, 1988; Slodicak, 1991), reflejando su valor la susceptibilidad de una masa a sufrir daños por viento y nieve. Como se observa en la Figura 3, con las claras bajas más intensas se consigue reducir la esbeltez media, existiendo diferencias significativas entre tratamientos a partir de la primera intervención (Tabla 5). Esta rápida respuesta de la masa a la clara se puede deber a una ligera diferencia en la esbeltez antes de realizar la primera intervención (Fig. 3). En el tratamiento testigo, la esbeltez se mantiene a lo largo del ensayo en valores superiores a 80, valor dado como límite de estabilidad frente a daños abióticos para esta especie por diversos autores (Abetz y Prange, 1976; Cremer *et al.*, 1983; Río *et al.*, 1997b). A su vez, en el tratamiento «C» (claras bajas débiles), la esbeltez media no desciende de este valor crítico hasta que no se ha realizado la tercera clara, indicando que desde el punto de vista de la estabilidad de la masa este régimen de claras es demasiado débil.

Además de las características del árbol medio, las claras modifican la estructura de la masa. Una buena caracterización de la estructura permite conocer diferentes aspectos de la masa, como son sus características tecnológicas y los posibles riesgos de daños bióticos y abióticos. Estudiando el efecto de las claras en los parámetros de la función Weibull ajustada a las distribuciones diamétricas se puede indicar cómo varían éstas con los distintos tratamientos. Según los resultados, cuanto más intenso es el régimen de claras mayor es la clase diamétrica inferior y la asimetría de la distribución diamétrica se torna más negativa (hacia la derecha), es decir, se obtienen más árboles en las clases diamétricas superiores. Por lo tanto, se corroboran los resultados anteriores: cuando se realizan claras bajas mejoran las dimensiones de los árboles que quedan en pie y se eliminan los árboles dominados y moribundos, por lo tanto, se obtiene una estructura que favorece la estabilidad y el vigor de la masa e incrementa la calidad de los productos.

CONCLUSIONES

En el régimen de claras más intenso del ensayo, con un área basimétrica después de la clara que pasa de 25 a 31 m²/ha entre la primera y la última clara se produce una pequeña pérdida de crecimiento en volumen con respecto a las masas no intervenidas. No obstante, esta pérdida es casi nula en edades tempranas, reflejando la mejor respuesta a la clara cuando la masa es joven y aumenta ligeramente con la edad. Por lo tanto, este régimen de claras está próximo al límite de espesura por debajo del cual se pierde producción en volumen. La reducción de la producción se compensa por el efecto positivo de las claras bajas e intensas sobre el crecimiento en diámetro y sobre el volumen del árbol medio, que permiten obtener productos de mayores dimensiones. Por último, con este régimen de claras se mejora sensiblemente el vigor de la masa y su resistencia frente a daños abióticos, tanto por las mejores

características medias de la masa principal (índice de esbeltez medio inferior a 80) como por la extracción de los individuos más sensibles a este tipo de daños y con menor vitalidad. Para calidades de estación medias-altas se propone una edad de iniciación temprana y claras bajas fuertes.

SUMMARY

Thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Central range

A thinning experience was carried out in a Scots pine natural regeneration stand in the Central range with a site index of 23, according to the quality curves given by Rojo and Montero (1996). The age of the stand at the beginning of the experience (1971) was 35 years, and 60 years at the last inventory (1996). The statistical design of the trial was a randomised complete block with four treatments and three blocks. One treatment was a control or unthinned (A), and the other three were low thinning with different intensities: light (C), moderate (D) and heavy (E) thinnings.

In this work, effects of these treatments on stand yield, mean tree and stand structure are studied. Results showed that with the heaviest thinning the total yield of the stand was a bit lower than in control treatment. This lost in production was imperceptible at early ages, so heavy thinning should be applied when stand is still young. According to these results the heaviest treatment of the trial is near the lower density limit for this species (critical basal area of Assmann). On the other hand, mean tree and stand structure characteristics became more suitable for increasing stand stability when thinning were heavy. The greater the intensity of thinning, the lesser the h/d ratio and the larger the square mean diameter. Moreover, more dominated and dying trees are removed. As conclusion we recommend low heavy thinning in early ages, reducing the intensity with age. Specially in stands of middle and high quality, the first thinning should be early, for instance at 20-25 years.

KEY WORDS: Low thinning
Thinning intensity
Pinus sylvestris L.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABETZ P., PRANGE, 1976. Schneebruchschäden vom März 1975 in einer Kiefernversuchsfläche mit geometrischen und selektiven Eingriffen in der nordbadischen Rheinebene. AFZ, 31, 583-586.
- ASSMANN E., 1970. The principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford. 506 pp.
- BURK T.E., BURKHART H.E., 1984. Diameter distributions and yields of natural stands of loblolly pine. VPI and SU, Sch For and Wildl Resour Publ. FWS 1-84, 46 pp.
- BURSCHEL P., HUSS J., 1997. Grundriß des Waldbaus. Parey Buchverlag Berlin, 2.^a ed.
- CANTIANI M.G., 1989. Ricerche sperimentali sul diradamento delle peccete pure coetanee della val di Fiemme. Annali Accademia Italiana di Scienze Forestal, 38,11-80.
- CHROUST L., 1979. Thinning Experiment in a Scots pine Forest Stand after 20 Years investigation. Comm. Inst. For. Chec., 11, 61-75.
- CREMER K.W., CARTER P.R., MINKO G., 1983. Snow damage in Australian pine plantations. Aust. For., 46 (1), 53-66.
- CURTIS R.O. 1967. Height-Diameter and Height-Diameter-Age Equations For Second Growth Douglas Fir. For. Sci., 13 (4), 365-375.
- DITTMAR O., 1988. Können wir uns eine Verbandserweiterung bei der Kiefer leisten? Beiträge für die Forstwirtschaft, 22 (1), 16-21.
- DITTMAR O., 1991. Zur Z-Baum-Entwicklung in langfristigen Kieferndurchforstungsflächen des nordost-deutschen Tieflandes. AFJZ, 162 (7), 121-125.
- ERTELD W., 1960. Untersuchung über Leistung und Entwicklung der Kiefer bei verschiedener Behandlung. AFZ, 9, 326-364.

- 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.
- HUMMEL F.C., 1950. Interim Note on a Thinning Study in Young Pine in East Anglia. Forestry, 23 (92), 78-89.
- HUMMEL F.C., LOCKE G.M., JEFFERS J.N., CHRISTIE, J.M., 1959. Code of sample plot procedure. Forestry Commission Bulletin 31, 114 pp.
- KRAMER H., JÜNEMANN D., 1984. Bestandesentwicklung und Erstdurchforstung bei einem weitständig begründeten Kiefernbestand. Forstarchiv, 55 (1), 10-17.
- KRAMER H., RÖÖS M., 1989. Durchforstungsversuch in einem weitständig begründeten Kiefernbestand. Forst und Holz, 44 (6), 139-144.
- 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.
- MANGOLD S., SPELLMANN H., 1989. Schneeschäden in Erdmann-Beständen. Forst und Holz, 44 (4), 90-94.
- MARTÍNEZ MILLÁN F.J., ARA LAZO P., GONZÁLEZ DONCEL I., 1993. Ecuaciones alométricas de tres variables: estimación del volumen, crecimiento y porcentaje de corteza de las principales especies maderables españolas. Invest. Agrar., Sist. recur. for., 2 (2), 211-228.
- MONTERO G., ROJO A., ALÍA R., 1992. Determinación del turno de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Montes, 29, 42-48.
- MONTERO G., ROJO A., RÍO M. DEL, 1996. Aspectos selvícolas y económicos de los pinares de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Curso abierto «Explotación y conservación del monte mediterráneo: una apuesta para el futuro», Universidad de Málaga (sin publicar), 17 pp.
- 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.
- MONTERO G., ORTEGA C., CAÑELLAS I., BACHILLER A., 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos regímenes de claras. Investigación Agraria. Fuera de serie número 1, 175-206.
- MOSER E.B., SAXTON A.M., 1990. Repeated measures analysis of variance: application to tree research. Can. J. For. Res. 20, 524-535.
- 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 Irati-97, Mesa IV, 429-434.
- POLLEY H., 1995. Beurteilung der mechanischen Stabilität der Waldbäume auf der Grundlage der Bundeswaldinventur. Forst und Holz, 50 (19), 594-597.
- POTVIN C., LECHOWICZ M.J., TARDIF S., 1990. The statistical analysis of ecophysiological response curves obtained from experiments involving repeated measures. Ecology, 7 (4), 1389-1400.
- RÍO M. DEL, MONTERO G., ORTEGA A., 1997a. Respuesta de los distintos regímenes de claras a daños causados por la nieve en masas de *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Invest. Agrar. Sist. Recur. For., vol. 6 (1 y 2), 103-117.
- RÍO M. DEL, MONTERO G., ORTEGA A., BACHILLER A., 1997b. 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.
- ROJO A., MONTERO G., 1996. El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 293 pp.
- ROTTMANN M., 1985. Waldbauliche Konsequenzen aus Schneebruch-katastrophen. Schweiz. Z. Forstwes., 136 (3), 167-184.
- SABIN T.E., STAFFORD S.G., 1990. Assessing the need for transformation of response variables. Forest Research Lab. Oregon State University. Special Publication 20, 31 pp.
- SAS INSTITUTE Inc., 1988. SAS/STAT User's guide, Release 6.03. Edition. Cary, USA.
- SEIBT G., 1990. Zur Behandlung junger Kiefernbestände mit Pflegerückständen - ein Durchforstungsmodell in Niedersachsen. Forst und Holz, 45 (5), 115-117.
- SLODICÁK M., 1991. Resistance of young spruce stands to snow and wind damage in dependence on thinning. Comm. Inst. For. Chec., 15, 75-86.
- SZYMANSKI S., 1986. Pflegemassnahmen als System des waldbaulichen Einflusses auf Bestand und Produktionsziel. Forst und Holzwirt., 41 (13), 343-345.
- VIDULICH A., 1988. Indagini sugli schianti da neve a carico de soprassuoli di pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) in provincia di Bolzano. L'Italia Forestale e montana, 2, 100-118.
- VUOKILA Y., 1962. The Effect of Thinnings on the Yield of Pine and Birch Stands. Comm. Inst. For. Fenn., 55 (12), 12 pp.