

Rendimientos, costes y efectos ambientales de las claras mecanizadas sobre repoblaciones de *Pinus sylvestris* L. en España

E. Tolosana Esteban *, Y. Ambrosio Torrijos, S. Vignote Peña

Dpto. de Economía y Gestión Forestal. E.T.S.I. Montes (Universidad Politécnica de Madrid).
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid (España)

RESUMEN

Se estudian 20 primeras claras, 15 de ellas totalmente mecanizadas, sobre repoblaciones de *Pinus sylvestris* L. en el centro y norte de España. Su sistema de aprovechamiento fue de madera corta y la combinación de medios más usual (en 13 de las 20 claras) consistió en cosechadora de cabezal en punta de grúa y autocargador (esquema 1 + 1), aunque en dos de ellas se apeó y elaboró con cosechadora ligera y en las cinco restantes con motosierra.

Por un lado, se desarrollan (mediante técnicas de estudio de tiempos por cronometraje discontinuo) ecuaciones predictivas de sus rendimientos y costes, comparándose éstos con los de los trabajos semimecanizados y estudiándose su rentabilidad directa en función del peso de la clara. Los rendimientos del apeo y procesado dependen básicamente del volumen unitario medio del árbol extraído y de la fisiografía (pendiente), y los de la saca con autocargador de la distancia de desembosque y la pendiente. En este caso, se obtienen modelos distintos para los autocargadores pesados (peso en vacío mayor de 15 t) y los ligeros/medios. En cuanto a los costes, los márgenes comerciales son escasos o negativos, excepto para volúmenes unitarios o pesos que exceden los prescritos por la selvicultura.

Por otro lado, se estudian los efectos ambientales inmediatos de la mecanización sobre los suelos (superficies alteradas, compactación evaluada mediante penetrometría) y sobre la masa remanente y la vegetación arbustiva, así como las acumulaciones de restos. Aunque dichos efectos no pueden considerarse graves, se detectan niveles de daños mayores que los admitidos por las legislaciones extranjeras más avanzadas. Se identifican algunos factores de los que dependen los daños, base de posibles mejoras en las prácticas de aprovechamiento.

Palabras clave: aprovechamiento forestal, claras, mecanización forestal, estudio de tiempos, impacto ambiental, compactación edáfica.

* Autor para correspondencia

Recibido: 22-9-00

Aceptado para su publicación: 28-8-01

INTRODUCCIÓN

Las cortas de mejora, en particular sobre las masas repobladas entre los años cuarenta y setenta del siglo XX, son una necesidad de primer orden cuya ejecución se ha retrasado en exceso, como se ha reconocido por numerosos autores (Tolosana *et al.*, 1997; Madrigal, 1998; Solís, Cabrera, 1998). Las claras, aún retrasadas, se consideran de ejecución urgente en numerosas masas, tanto porque son un medio para procurar la estabilidad de estos sistemas forestales artificiales y frágiles frente a graves riesgos bióticos y abióticos como además, en muchos casos, para mejorar su producción futura. Este último aspecto no sólo beneficia a la sociedad circundante, sino que contribuye a que ésta perciba los bosques como una posible fuente de beneficios, por lo que se valoran las claras como una herramienta básica de creación de cultura forestal en el medio rural español (Torre, 2001).

Los obstáculos a la necesaria ejecución de este tipo de cortas en España, que pueden explicar los fuertes retrasos que –como se ha indicado– se perciben en su ejecución, son los siguientes:

Los problemas sociales relacionados con la falta de tradición selvícola en nuestro país, y en que juega además un papel destacado la importancia política del movimiento ecologista (Tolosana *et al.*, 1997).

Los supuestos escasos márgenes comerciales de las claras, que dificultan su ejecución y se estiman debidos a dos motivos básicos:

– El elevado coste de ejecución, debido a su carácter selectivo, al reducido peso que se prescribe en algunos casos y al pequeño tamaño de los árboles objeto de selección.

– La debilidad del mercado de la madera delgada –destinada sobre todo a la industria de desintegración–, que tiene además perspectivas inciertas.

Estos problemas son total o parcialmente compartidos por los países europeos de nuestro entorno (Bouvarel, Kofman, 1996).

La mecanización integral de los aprovechamientos, y en particular de las claras, que ha venido a solventar parcialmente algunas de las dificultades señaladas en Europa, es relativamente reciente en España. En las claras se introdujeron las primeras máquinas de apeo y procesado en la segunda mitad de los años ochenta. Se trató de dos cosechadoras finlandesas ligeras *Lokomo Makeri* y de un número cercano a diez de cosechadoras nórdicas de tipo medio, con cabezal de apeo y procesado en punta de grúa. En el último caso, las máquinas base fueron *Norcar*, mientras que los cabezales fueron de diversas marcas, aunque todos ellos de fabricación nórdica. Recientemente, desde los noventa, se han incorporado muchas nuevas máquinas, también completamente hidrostáticas con máquina base forestal o bien sobre retroexcavadoras.

La mecanización integral de las claras tiene su origen en diversos problemas relacionados con la ejecución de este tipo de cortas, en particular en la dificultad de encontrar personal especializado para su ejecución. Este es un problema de primera magnitud en que la evolución hacia la terciarización de la sociedad española, junto con las profundas deficiencias de la formación profesional forestal, han convertido el ámbito profesional básico de nuestros montes en un rosario de balsas de marginalidad.

Ante la casi total ausencia de investigación al respecto en España, frente a la intensa dedicación en el conjunto de la Unión Europea (Spinelli, 1995), el Departamento de Eco-

nomía y Gestión Forestal de la U.P.M. decidió abrir una serie de líneas de investigación sobre la materia a mediados de los años noventa.

Su objetivo inicial ha sido el estudio de las claras completamente mecanizadas mediante el uso de cosechadora y autocargador forestales, con el fin de:

Desarrollar modelos de tiempos, rendimientos y costes que faciliten su gestión, y
Valorar sus efectos ambientales desfavorables.

En ambos casos se han analizado los factores de que estas variables dependen con el fin de llegar a conclusiones sobre la forma de facilitar la ejecución de este tipo de operaciones, mejorando su efectividad selvícola y económica, pero también sobre la manera de reducir sus posibles efectos ambientales adversos.

Este trabajo se centrará en los modelos de rendimientos y costes elaborados para el apeo y elaboración de la madera de claras mediante cosechadora de cabezal en punta de grúa y para su desembosque con autocargador, la comparación de estos costes con los sistemas semimecanizados tradicionales y, por otro lado, la descripción y valoración de sus efectos ambientales supuestamente negativos.

METODOLOGÍA

Caracterización de las claras

Se han estudiado 20 claras, en su gran mayoría sobre masas de pino albar procedentes de repoblación, y situadas en la submeseta norte –provincias de Álava, Burgos, Palencia y Segovia–. La localización de las claras estudiadas se muestra en la Figura 1.

De ellas, en 15 casos el apeo fue mecanizado mediante cosechadora forestal (llamada comúnmente procesadora), aunque sólo en las 13 de ellas en que se trató de cosechadoras de cabezal en punta de grúa (de las series 400 y 600 de la casa finlandesa *Norcar*), el apeo mecanizado es objeto de análisis.

En cuanto a la saca, en 17 de las claras estudiadas se llevó a cabo con tractor autocargador forestal. La distribución de los tipos de máquina empleados es la siguiente:

Ocho autocargadores pesados –con peso en vacío de 15 o más toneladas y capacidad de carga media de 14,4 t–. Los modelos más comunes fueron camiones todoterreno *Volvo* adaptados, aunque también se han estudiado tres autocargadores *Kockum*.

Nueve autocargadores ligeros o medios de transmisión hidrostática –peso en vacío inferior a 15 t y capacidad media de 12,3 t–, entre los que predominaron los *Norcar*, aunque también hubo máquinas *Ponsse*, *Cemet* y *Timberjack*. En un solo caso se empleó un *Forcar* de fabricación nacional.

Las condiciones dasométricas de estas claras, que fueron una combinación de cortas sistemáticas y selectivas, con «calles de desembosque» cada 18 metros como media, controladas mediante comparación de inventarios en tres parcelas permanentes de 40 × 40 m² en cada una de ellas, se reflejan en la Tabla 1.

En la práctica totalidad de los casos, el destino de la madera fue la industria de pasta de celulosa.



Fig. 1.—Localización de las cortas de mejora objeto de estudio

Estudios de tiempos, rendimientos y costes

Los estudios de tiempo se desarrollaron mediante cronometraje disgregado (por fases de los ciclos de trabajo ¹) y discontinuo, por el método de muestreo conocido en la terminología anglosajona como *Stopwatching*, de los distintos tipos de máquinas empleados en las cortas estudiadas.

A partir de los registros de los cronometrajes, se desarrollaron ecuaciones predictivas de tiempo productivo para las distintas fases de los ciclos de trabajo, valorándose también el coeficiente de tiempo productivo sobre tiempo de trabajo ². Estas ecuaciones de tiempos se simplificaron y se derivaron de ellas las correspondientes ecuaciones de rendimiento sobre tiempo de trabajo.

¹ En el análisis de los ciclos de trabajo se han seguido las recomendaciones de Thompson (1992), IUFRO (Bjöherden, 1995) y de la Acción Concertada Europea AIR-CT94-2097 (CTBA, 1997).

² Para la definición de «tiempo productivo», «tiempo de trabajo», etc., se ha adoptado la terminología propuesta por el grupo 3.04.02 de IUFRO (Bjöherden, 1995), que se describe en CTBA (1997).

Tabla 1
Condiciones dasométricas y tecnología empleada

N.º	Monte (n.º estrato)	Edad (años)	Altura dominante (m)	N ₀ (pies/ha)	Área basimétrica (m ² /ha)	Existencias en volumen (m ³ e.c./ha, antes de la clara)	Pendiente (%N.º pies extraído)	%Ab extraída	% V extraído	Tipo de apeo	Tipo de saca
1	GENCIANA	35	13,2	1.073	36,1	200,8	5	34,0	31,2	MEC1	APES
2	PEDRAJA 0	31	9,8	1.223	28,4	125,4	10	27,7	25,7	MEC1	APES
3	MAYOR Y REBOLLO I	35	8,7	835	14,3	52,5	2	24,4	24,4	MEC2	APES
4	MAYOR Y REBOLLO II	35	11,8	755	18,1	82,4	2	17,4	17,1	MEC2	APES
5	EL RASO I	35	13,2	1.193	43,6	242,4	0	17,8	15,4	MEC2	AL_M
6	BARDAL I	29	10,8	2.264	49,3	236,5	5	34,6	33,3	MEC2	APES
7	BARDAL II	29	9,4	1.503	35,9	142,5	0	37,1	34,2	MEC2	APES
8	PEDRAJA I	32	9,9	1.552	32,3	163,5	3	43,3	43,0	MEC2	AL_M
9	PEDRAJA II	32	12,6	1.208	31,7	170,2	16	31,9	30,4	MEC2	SKID
10	PEDRAJA III	32	11,9	1.264	29,8	154,8	10	49,5	48,0	MEC2	SKID
11	SOBRADA I	46	13,8	1.077	46,3	283,9	38	48,1	47,6	MEC2	AL_M
12	SOBRADA II	46	14,5	1.223	45,1	265,5	10	34,3	33,1	MEC2	AL_M
13	FUENTEPILA	38	10,6	764	32,7	162,3	2	27,8	27,8	MEC2	APES
14	EL RASO II	35	12,8	1.395	52,6	287,8	5	32,1	31,2	MEC2	AL_M
15	LABRUJULA	55	14,5	1.514	47,2	278,1	8	35,3	33,1	MEC2	APES
16	LANDA	33	10,0	952	31,2	128,1	40	40,8	40,4	MOT	AL_M
17	AMILLARRI	40	16,9	1.123	50,2	357,5	21	39,7	39,2	MOT	AL_M
18	ESCABROSO	32	14,0	1.784	41,0	232,1	5	56,0	55,3	MOT	AL_M
19	LAMIMBRE	38	10,4	965	20,9	100,6	22	30,1	31,4	MOT	AL_M
20	SOTO	37	11,4	1.379	37,2	184,9	0	9,7	9,0	MOT	TAGR

Se han seleccionado para su análisis los modelos más sencillos y de mejor ajuste (en los que se proporcionan los estadísticos de regresión) o, en algunos casos, los obtenidos por adición y simplificación de modelos disgregados de tiempo productivo (en este caso no se proporcionan los estadísticos de regresión, pero sí el valor medio de los residuos en términos de error porcentual).

La valoración de los costes unitarios requirió, además de los rendimientos por hora de trabajo, una evaluación del coste horario (€/hora de trabajo) de las máquinas y operarios, a partir de encuestas a usuarios, fabricantes e importadores de las máquinas a lo largo del período 1994-98. Los resultados se transformaron a pesetas corrientes de 1998, empleando en su caso los índices sectoriales de inflación proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística. Estos valores se han convertido finalmente en euros (1 euro = 166,386 pts.).

Análisis de los efectos ambientales desfavorables

El estudio de los daños se llevó a cabo por muestreo en 12 parcelas circulares de 10 m de diámetro, contenidas en las citadas tres parcelas permanentes de inventario de cada uno de los 20 sitios de estudio. Se evaluaron los siguientes aspectos:

Daños edáficos. Se han considerado alteraciones edáficas tanto el simple desgarramiento o escarpado superficial por remoción de horizontes orgánicos someros o capas herbáceas como la formación de rodadas, en que ya suele estar presente la compactación. Se ha procedido a su clasificación –de acuerdo con Rotaru (1984)– y a valorar el porcentaje de superficie afectada y la profundidad media.

Compactación edáfica en las zonas transitadas, que se compara con la situación de las áreas inalteradas. Para su valoración, se ha empleado un penetrómetro de cono RIMIK CP10a, midiéndose de forma complementaria la humedad edáfica por medio de un higrómetro TRASE basado en la tecnología TDR (*Time Domain Reflectometry*), fabricado por *Soil Moisture Equipment*.

Daños sobre los pies de la masa remanente, en que se estudiaron y caracterizaron las heridas.

Acumulaciones de residuos de corta y efectos de la clara sobre el sotobosque (porcentaje de superficie cubierta y altura media).

Estos estudios se han completado tras 3 a 4 períodos vegetativos después de las claras –si bien sólo en parte de los montes, por no haber transcurrido el plazo necesario en el resto–, registrándose la evolución de esos efectos desfavorables y sus consecuencias fitosanitarias y sobre el crecimiento de la masa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelos de rendimiento

Se establecieron varios tipos de modelos de rendimiento para cada fase del aprovechamiento (apeo y elaboración y desembosque).

Restringiendo la exposición a los modelos más sencillos y de mejor ajuste, los modelos obtenidos para el rendimiento (m³/hora productiva) fueron los siguientes:

Para el apeo, elaboración y apilado mediante cosechadora con grúa

$$R(\text{m}^3/\text{hora productiva}) = 160,23 \frac{V_{c/c} \text{ unit}^{0,972}}{(p\% - 3,3)^{0,305}}$$

Siendo $c_{c/c}$ unit el volumen medio con corteza del pie extraído (m³ y p la pendiente en porcentaje).

n.º datos = 13		n.º g.l. = 9		
Coefficientes:	160,23	0,972	3,3	0,305
Error típico:	(187,9)	(0,26)	(9,6)	(0,36)
R ² = 66,4 % (R ² corr = 55,2 %).		Valor absoluto medio de los residuos = 1,9 m ³ /hora		
<i>Valor medio y rango de variación observados, unidades:</i>				
Rendimiento:	10,9 (6,1 - 21,3) m _{c/c} ³ /hora productiva			
V _{c/c} unit:	0,123 (0,080–0,193) m _{c/c} ³ /pie extraído.			
Pendiente:	7,6 (0,0–37,5) %			

Las variables explicativas seleccionadas (volumen unitario medio del pie extraído y pendiente media) se encuentran entre las más frecuentemente citadas como condicionantes en claras mecanizadas (Sirén, 1990). Los valores de los estadísticos que describen la bondad del ajuste se encuentran dentro de los márgenes habituales en este tipo de estudios, dada la gran variedad de factores implicados y la dificultad de su registro, especialmente complejo para los trascendentes factores humano y motivacional.

En la Figura 2 se muestra la representación gráfica de esta función de rendimientos.

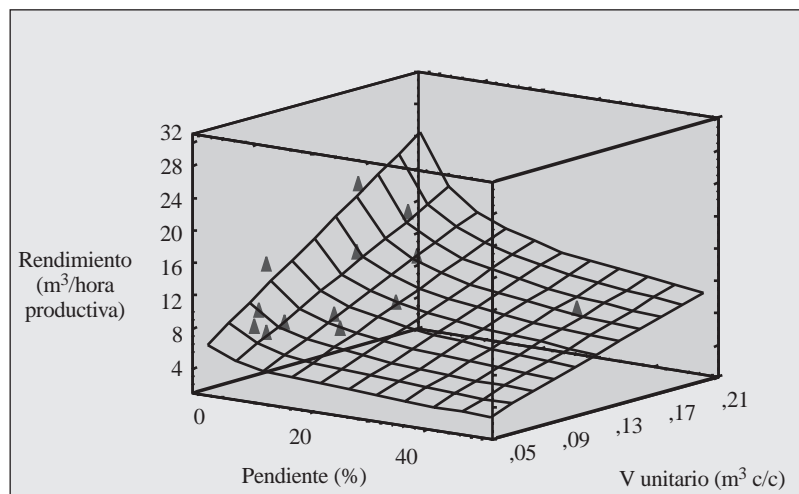


Fig. 2.—Influencia del volumen unitario del pie extraído y la pendiente en el rendimiento del apeo y procesados con cosechadora forestal de cabezal en punta de grúa

Valor medio y rango de variación observados, unidades:

Para el desembosque mediante autocargador forestal

Se han obtenido diferentes ecuaciones predictivas para los autocargadores pesados (con peso en vacío 15 t) y ligeros o medios (con peso en vacío < 15 t), cuyos rendimientos son significativamente distintos. Estas ecuaciones no se han obtenido por ajuste directo, sino por simplificación de ecuaciones de regresión de tiempo productivo disgregado (por fases), por lo que no se puede aportar estadísticas de regresión, aunque sí los valores medios y rangos de las distintas variables, y finalmente el valor medio de los errores porcentuales –en valor absoluto– con respecto a los valores observados:

Autocargadores pesados

$$R(\text{m}_{\text{c/c}}^3 / \text{hora productiva}) = \frac{1}{0,0407 \cdot 1,533 \cdot 10^{-5} \cdot p\% (p\% \cdot 11,5) \cdot 2,038 \cdot 10^{-3} \cdot D^{0,424}}$$

siendo p la pendiente media (%) y D la distancia media –considerando sólo la ida– de desembosque en m.

Rendimiento:	14,0 (8,9–22,5) m ³ cc/hora productiva
Distancia de desembosque:	594 (160–1.000) m
Pendiente:	4,3 (0–10) %

Autocargadores ligeros - medios

$$R(m_{c/c}^3 / \text{hora productiva}) = \frac{1}{0,0446 \cdot 1,796 \cdot 10^{-5} \cdot p\% \cdot (p\% \cdot 11,5) \cdot 2,387 \cdot 10^{-3} \cdot D^{0,424}}$$

Valor medio y rango de variación observados, unidades:

Rendimiento:	12,7 (9,0–15,8) m ³ cc/hora productiva
Distancia de desembosque:	407 (175–950) m, IDA.
Pendiente:	16,7 (0–39,7) %

El error medio porcentual en la estimación de rendimientos es para el conjunto de los autocargadores, en valor absoluto, de un 23 % con respecto a los valores observados, valor que se puede considerar aceptable ante la gran influencia que tiene el elemento personal (tractorista) en los rendimientos, factor que no ha sido posible considerar en los estudios realizados.

Los factores explicativos resultantes del análisis –distancia de desembosque y pendiente– se señalan por la mayoría de los autores como los más condicionantes de los rendimientos (Briant, 1998).

Los costes unitarios de las cortas de mejora totalmente mecanizadas

Apeo y elaboración mediante cosechadora

En el caso de las cosechadoras ligeras, la evaluación de costes horarios dio un resultado de 36,06 €/hora de trabajo, y el coeficiente de productividad medio arrojó un valor de 0,813 horas productivas por hora de trabajo ($C_{ut} = 81,3 \%$), con lo que el coste unitario medio resultó ser 10,38 €/m³ c/c (estos valores son el resultado de convertir a euros los valores de los precios medios en pesetas corrientes de 1998).

En el caso de las cosechadoras con grúa, el coste horario de funcionamiento se evaluó en 69,12 €/hora de trabajo (también a partir de pts. corrientes de 1998), mientras que el coeficiente de tiempo productivo sobre tiempo de trabajo resultó en función de la pendiente, según:

$$C_{ut} = 0,7845 - 0,00625 \cdot p\%$$

donde p es la pendiente media en porcentaje.

n.º datos = 12		n.º g.l. = 11
Coefficientes:	78,45	-0,625
Error típico:	(3,68)	(0,298)
R ² = 38,7 % Valor absoluto medio de los residuos = 0,052 (5,2 %)		
<i>Valor medio y rango de variación observados, unidades:</i>		
Coefficiente de utilización:	73,7 (53,3–92,5) % (en la fórmula, en tanto por uno)	
Pendiente:	7,6 (0,0–37,5) %	

La integración de estos modelos parciales da lugar al modelo de costes unitarios siguiente para las cosechadoras de cabezal en punta de grúa:

$$C_{\text{unit}} (\text{€/m}_{\text{c/c}}^3) = \frac{69,12}{160,23 (0,7845 - 0,006248 p\%) \frac{v_{\text{c/c}} \text{unit}^{0,972}}{(p - 3,3)^{0,305}}}$$

Las funciones que expresan la variación de los costes en función del volumen unitario medio con corteza del pie extraído ($v_{\text{c/c}} \text{ unit}$) para pendientes p entre 0 y 25 % se muestran en la Figura 3.

La dependencia del volumen unitario –mayor en las operaciones mecanizadas que en el apeo con motosierra– condiciona fuertemente la posibilidad de autofinanciar estas operaciones en cortas de mejora, restringiendo su ámbito de autofinanciación a claras muy retrasadas e incrementando la posible tendencia a la selección «por lo alto» de los pies de la masa a extraer.

La influencia de la pendiente actúa de modo complementario, pudiendo favorecer especialmente la citada tentación en los montes menos llanos: para los precios de mercado de 1994 de la madera en pie y en fábrica de pasta de celulosa (actualizados a 1998), en unas condiciones próximas a las medias observadas en el conjunto de las operaciones en cuanto a distancia a fábrica y distancia de desembosque, la posibilidad de autofinanciar las operaciones ³ con cosechadora de grúa y autocargador se estima limitada por ambos factores de acuerdo con el siguiente esquema:

Montes llanos:

– Saca con autocargador pesado: clara autofinanciable ⁴ a partir de 0,109 $\text{m}_{\text{c/c}}^3/\text{pie}$ extraído.

³ Para el análisis global de la posibilidad de autofinanciación y de los márgenes comerciales de los aprovechamientos se ha partido de datos procedentes de encuesta a las empresas del sector y de las estimaciones de costes indirectos y de estructura de Sundberg & Silversides (1989).

⁴ Se ha considerado el valor umbral de autofinanciación el de igualdad entre ingresos y costes, supuesto un 15% de costes indirectos y de estructura para las operaciones de aprovechamiento (*Vid.* Tabla 2).

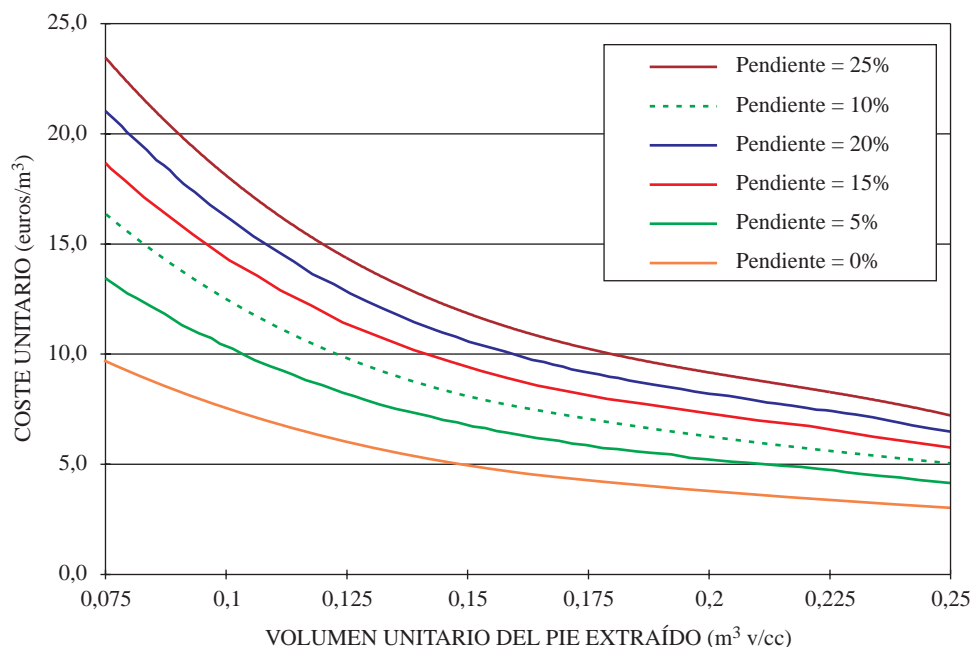


Fig. 3.—Influencia del volumen unitario del pie extraído y la pendiente en el coste unitario del apeo y procesados con cosechadora forestal de cabezal en punta de grúa, para un coste horario de 69,12 €/hora de trabajo

– Saca con autocargador ligero o medio: clara autofinanciable a partir de 0,120 m³_{c/c}/pie extraído.

Montes con pendiente media del 25 %:

– Saca con autocargador pesado: clara autofinanciable a partir de 0,184 m³_{c/c}/pie extraído.

– Saca con autocargador ligero o medio: clara autofinanciable a partir de 0,207 m³_{c/c}/pie extraído.

Es evidente, especialmente en este último caso, que se trata de valores muy alejados de los habituales en nuestras primeras claras de masas repobladas.

Costes unitarios para el desembosque con autocargador

Autocargadores pesados

Coste horario estimado = 7.300 pts. de 1998/hora de trabajo (43,87 €/hora de trabajo).

Coefficiente de productividad medio observado = 0,89 (tiempo productivo/tiempo de trabajo).

Autocargadores ligeros o medios

Coste horario estimado = 6.900 pts. de 1998/hora de trabajo (41,47 €/hora de trabajo).

Coefficiente de productividad medio observado = 0,80 (tiempo productivo/tiempo de trabajo).

Estos resultados, en cuanto a los coeficientes de productividad, deben interpretarse como consecuencia de la mayor robustez de los autocargadores pesados, frente a la relativa delicadeza –especialmente por su complejo sistema oleohidráulico– de los autocargadores ligeros, que sufren un mayor porcentaje de incidencias y averías y requieren un mantenimiento más cuidadoso.

La integración de estos resultados da lugar a los modelos de costes unitarios siguientes para el desembosque con autocargadores:

Autocargador pesado

$$C_{\text{unit}} (\text{€/m}^3_{\text{c/c}}) = 43,87 \cdot [0,0457 + 1,722 \cdot 10^{-5} \cdot \text{p\%} \cdot (\text{p\%}+11,5) + 2,2894 \cdot 10^{-3} \cdot D^{0,424}]$$

Autocargador ligero-medio

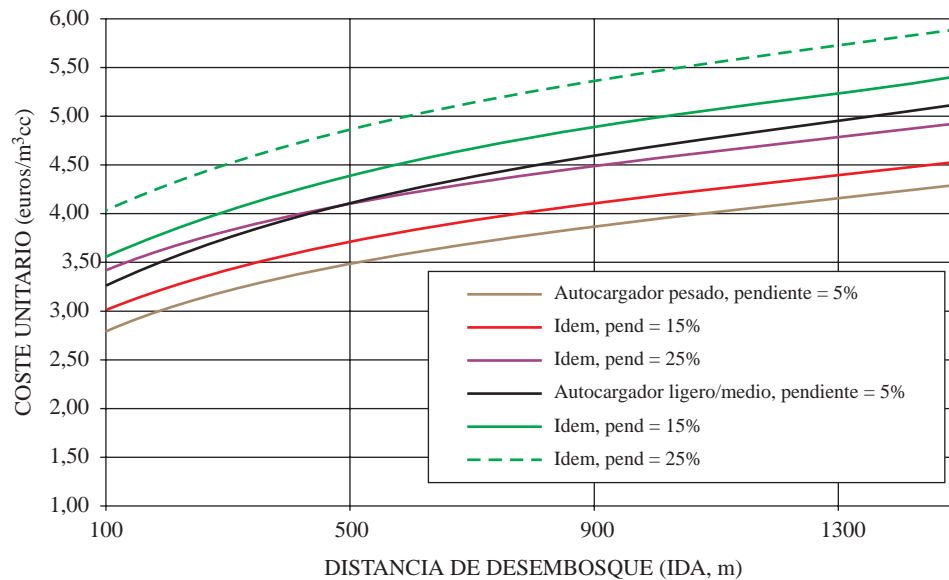


Fig. 4.–Coste unitario de saca con autocargador, para un coste horario de 41,47 €/hora de trabajo (autocargador ligero o medio) y 43,87 €/hora de trabajo (autocargador pesado)

$$C_{\text{unit}} (\text{€/m}^3_{\text{c/c}}) = 41,47 \cdot [0,0555 + 2,234 \cdot 10^{-5} \cdot p\% \cdot (p\%+11,5) + 2,9684 \cdot 10^{-3} \cdot D^{0,424}]$$

Estos dos modelos, cuya simbología ya se ha señalado, se representan gráficamente en la Figura 4.

Es destacable la importancia de la distancia de desembosque D (ida, m) como variable explicativa, que da lugar a que se puedan conseguir mejoras importantes en los costes si ésta se reduce mediante inversiones en la red de pistas. Además, las grandes distancias de desembosque favorecen el uso de autocargadores pesados –que desarrollan mayor velocidad en pista, pero que producen un mayor nivel de daños, como se estudiará en el apartado correspondiente.

La influencia del peso de la clara en el balance económico.

Modelos de rendimiento del apeo y procesado mecanizados basados en el peso de la clara y las condiciones fisiográficas

$$R(\text{m}^3/\text{hora productiva}) = 0,07686 V_{\text{c/c}}\text{ext} \frac{21,3}{p\%}$$

N.º datos = 11		n.º g.l. = 9
Coefficientes:	0,07686	21,3
Error típico:	(0,024)	(5,6)
R ² = 87,1 % R ² corr = 85,6 % Valor absoluto medio de los residuos = 3,7 m ³ /hora productiva		
<i>Valor medio y rango de variación observados, unidades:</i>		
Coefficiente de utilización:	10,9 (6,1–21,3) m ³ /hora productiva	
V _{c/c} ext:	64,9 (16,9–113,5) m _{c/c} ³ ext/ha.	
Pendiente:	10,8 (2,0–37,5) %	

siendo V_{c/c} ext el peso de la clara en m³/ha extraídos (con corteza) y p el porcentaje de pendiente.

Costes unitarios de las cortas de mejora totalmente mecanizadas en función del peso de la clara

La integración de varios modelos parciales da lugar al modelo de costes unitarios siguiente para las cosechadoras de cabezal en punta de grúa:

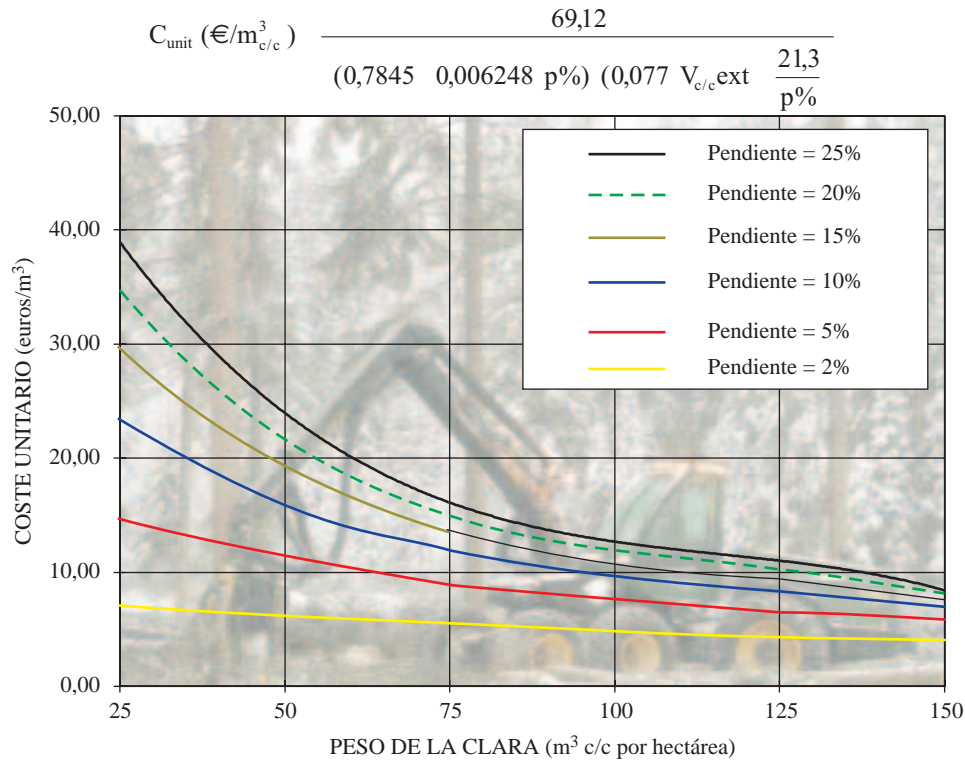


Fig. 5.—Influencia de la densidad de corta y la pendiente en el coste unitario del apeo y procesado con cosechadora forestal de cabezal en punta de grúa, para un coste horario estimado de 69,12 €/hora de trabajo

(donde el significado de los símbolos empleados es el mismo que en C.1.)

Las funciones que expresan la variación de los costes en función de la densidad de corta se muestran en la Figura 5.

Comparación con los costes unitarios de las cortas de mejora semimecanizadas (con motosierra)

El estudio de cinco claras similares sobre repoblaciones de pino albar, pero en que la tecnología de apeo y elaboración fue convencional (operarios con motosierra), ha dado lugar al desarrollo de una ecuación predictiva del rendimiento equivalente, aunque de carác-

N.º datos = 5		n.º g.l. = 2	
Coefficientes:	0,598	0,32	0,19
Error típico:	(0,23)	(0,10)	(0,07)
R ² = 87,0 %; R ² corr = 74,0 % Valor absoluto medio de los residuos = 0,14 m ³ /hora productiva			
<i>Valor medio y rango de variación observados, unidades:</i>			
Coefficiente de utilización:	1,57 (1,13–2,07) m ³ /hora productiva		
V _{c/c} ext:	73,6 (16,6–140,0) m ³ c/c / hectárea		
Pendiente:	17,5 (1,0–39,6) %		

ter provisional, habida cuenta del escaso número de experiencias estudiadas, que se presenta a continuación:

$$R(\text{m}^3_{\text{c/c}}/\text{hora productiva}) = 0,5977 \frac{V_{\text{c/c}}\text{ext}^{0,32}}{p\%^{0,19}}$$

(donde el significado de los símbolos empleados es el mismo que en C.1.)

Este modelo se puede transformar en una ecuación de costes unitarios a partir del coste horario (que se estima en 1.900 pts. de 1998 –11,42 €/hora de trabajo, incluyendo los costes sociales, seguros y gastos de manutención y alojamiento, y constituyendo por tanto un coste empresarial) y del coeficiente medio de productividad, cuyo valor en estas experiencias fue 0,827 (82,7 %) horas productivas por hora de trabajo.

La igualdad de las expresiones de costes unitarios para el apeo y procesado mecanizados y semimecanizados permite, mediante métodos numéricos de interpolación, definir el lugar geométrico de los puntos de igual coste para ambos sistemas de claras, en las circunstancias actuales de mercado.

El resultado se muestra en la Figura 6, en que se puede apreciar cómo, para los supuestos de costes actuales, el margen comercial directo de los sistemas de apeo mecanizado por medio de las máquinas estudiadas es escaso. Es necesario, para explicar el notable incremento de su uso, tener en cuenta otros factores cruciales, como la creciente dificultad para encontrar operarios o la menor dependencia de las máquinas de las condiciones meteorológicas.

Además, la relación de costes entre claras mecanizadas y semimecanizadas depende del cociente «coste horario de cosechadora/coste horario de motoserrista», que es, para las circunstancias actuales, aproximadamente de 6,0. Si esta razón variase, también lo haría –y muy notablemente– la curva de igualdad de costes unitarios directos, según se puede apreciar en la Figura 7.

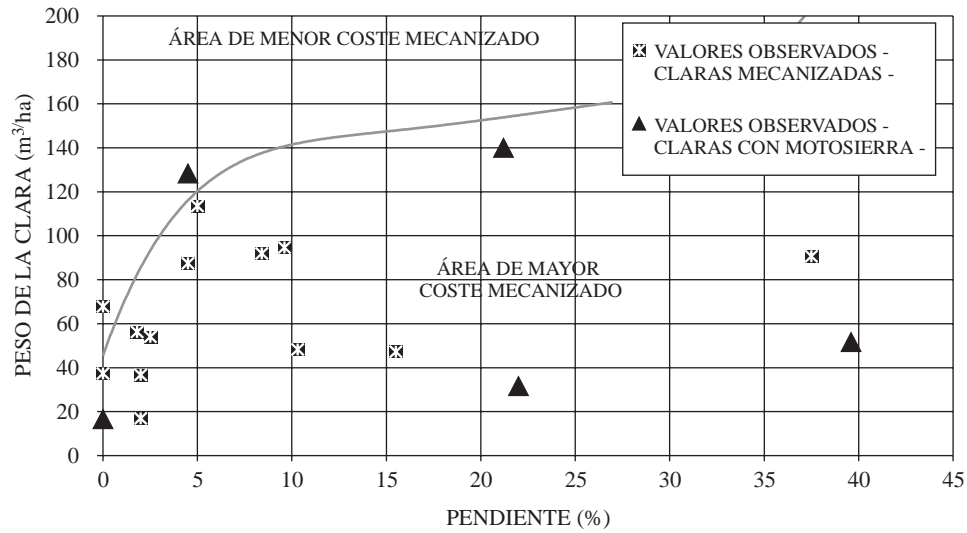


Fig. 6.-Curva de iso-coste unitario para el apeo con motosierra y con cosechadora

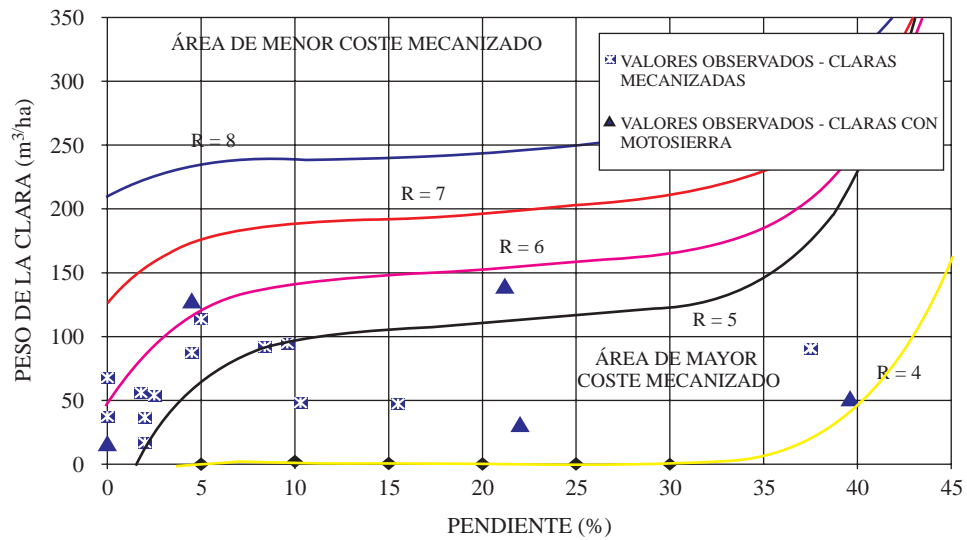


Fig. 7.-Variación de las curvas de iso-costes unitarios de apeo y elaboración en función del coeficiente R entre costes horarios de cosechadora y operario con motosierra

Balance económico de las operaciones mecanizadas y semimecanizadas en función del peso de la clara

El estudio de los costes del aprovechamiento en los casos estudiados ha dado lugar a la elaboración de un modelo general de costes, basado en los precios y condiciones me-

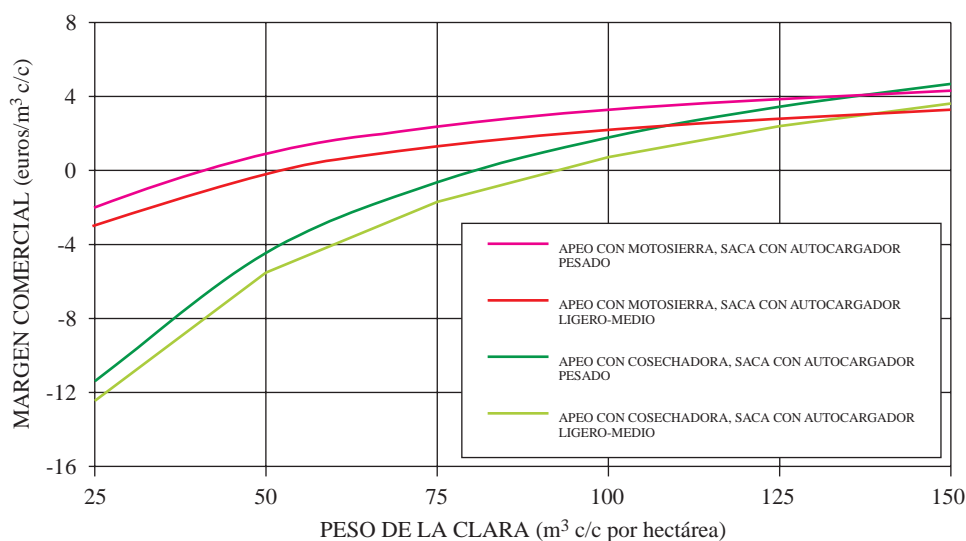


Fig. 8.—Margen comercial de las cortas de mejora en función del volumen de la masa extraída para las condiciones medias observadas (montes llanos o casi)

días de mercado determinadas mediante encuestas en el período 1994-1998, y en las ecuaciones de costes desarrolladas en los apartados precedentes, con todos sus valores actualizados a pesetas corrientes de 1998 (y expresados en euros).

Para el estudio de la influencia de la densidad de corta en los márgenes de beneficios de la empresa de aprovechamientos, se ha partido de las condiciones medias encontradas en las 15 cortas de mejora totalmente mecanizadas que han sido objeto de estudio, condiciones que se reflejan en la Tabla 2 ⁵.

⁵ En dicha Tabla, los precios de la madera en fábrica y en pie se corresponden con datos de 1994, obtenidos, respectivamente, por encuesta a las industrias del sector y como media de los precios de adjudicación de las subastas en los montes estudiados. Los precios en fábrica se refieren a la industria de pasta de celulosa de coníferas, pues las industrias de tableros presentan unos márgenes aún más reducidos, y en la práctica es menos frecuente que empleen cosechadoras en este tipo de operaciones. En ambos casos, los valores se han actualizado mediante los índices oficiales de precios al consumo y se expresan en pesetas corrientes de 1998 convertidas a euros. Los precios de transporte corresponden a los medios reales de 1998 para camión con remolque (*trailer*) que hace el transporte como retorno, obtenidos mediante encuesta a numerosas empresas del sector.

Tabla 2
Valores medios observados en relación con el esquema de costes

Apeo y elaboración	Mecanizado		Semi-mecanizado	
	1	0	1	0
Tipo de autocargador (1 = pesado, 0 = ligero-medio)	1	0	1	0
Precio madera en fábrica (€/m ³ c/c)			33,69	
Precio madera en pie (pts/m ³ c/c)			7,21	
Distancia a fábrica (I + V), km			200	
Coste horario cosechadora/operario con motosierra, en € por hora de trabajo.		69,12		11,42
Coste horario de autocargador, en €/hora de trabajo.	43,87	41,47	43,87	41,47
Distancia de desembosque (Ida), m			500	
Pendiente media, %			7,6	
Coste materia prima (en pie), incl. 5 % de costes indirectos, (€/m ³ c/c)			7,57	
Coste unitario de apeo y elaboración ⁶ , incl. 15 % de costes indirectos (")	14,52	14,52	10,75	10,75
Coste desembosque, incluyendo 15 % de costes indirectos (")	4,24	5,31	4,24	5,31
Coste transporte (retorno), incl. 5 % costes indirectos (")	9,30	9,30	9,30	9,30
COSTE TOTAL DEL APROVECHAMIENTO (pts/m³ c/c)	35,63	36,69	31,85	32,92

En la Figura 8 se muestra la variación del margen comercial (diferencia entre el precio de la madera en fábrica y el coste del aprovechamiento, incluyendo los costes indirectos y de estructura) en función de:

- Las tecnologías de apeo y saca, y
- La densidad de corta o peso de la clara (m³ c/c/ha).

La interpretación de esta Figura parece poner de manifiesto los siguientes hechos:

⁶ Los costes de apeo y elaboración que se presentan en la tabla corresponden a la densidad de corta media observada (65 m³/ha), y es precisamente su variación y la influencia que tienen en la rentabilidad del aprovechamiento lo que se analiza en este Apartado.

⁷ Es importante observar que estas condiciones son prácticamente de terreno llano.

El margen comercial directo en las claras totalmente mecanizadas se encuentra, en las circunstancias actuales de costes, por debajo del de las claras con motosierra, excepto para densidades de corta muy elevadas en este tipo de tratamientos.

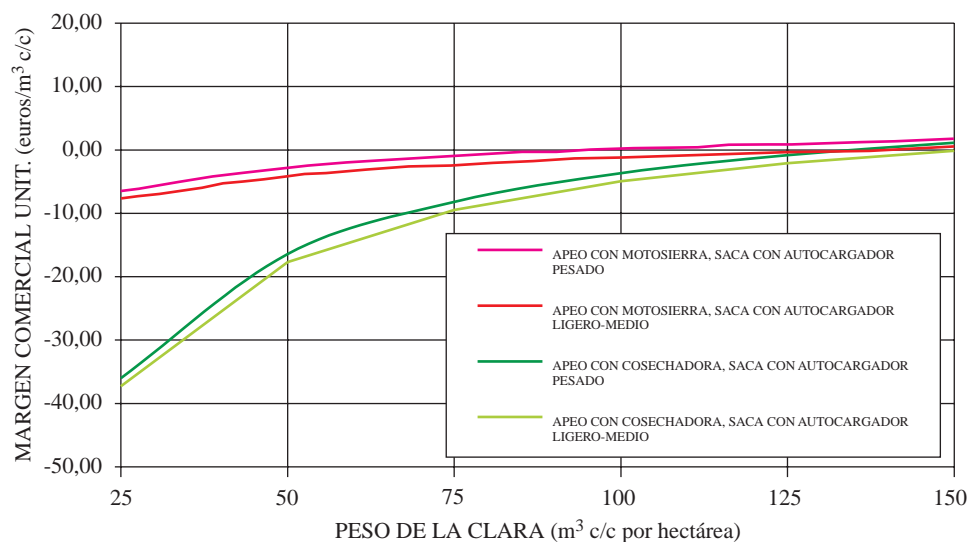


Fig. 9.—Margen comercial de las cortas de mejora en función del volumen de la masa extraída, para unas condiciones de pendiente del 25 %

El margen comercial directo positivo en las operaciones semimecanizadas, para las condiciones medias observadas⁷, se obtiene para valores inferiores, pero cercanos a los 50 m³/ha.

El margen comercial directo positivo en las operaciones mecanizadas, para las mismas condiciones, no se alcanza hasta valores entre los 75 y los 100 m³/ha de peso de la clara.

Además, dado que numerosas cortas de mejora se producen en terrenos más o menos abruptos, cabría llevar a cabo de nuevo el análisis para unas condiciones medias de pendiente más cercanas a las propias de las operaciones con motosierra habituales en nuestros montes. Se ha estudiado, para ello, el margen directo para un 25 % de pendiente, cuya variación con la densidad de corta se representa en la Figura 9.

Las condiciones de la posible autofinanciación empeoran sensiblemente en este caso: incluso para el apeo y elaboración con motosierra, la rentabilidad neta positiva se obtiene para valores cercanos o superiores a los 100 m³/ha, mientras que para las cortas con cosechadora, tal rentabilidad neta no se alcanza hasta el intervalo 125-150 m³/ha (siempre con corteza).

En todo caso, es reseñable el hecho de que se reducen los costes directos (y, por tanto, aumentan los márgenes) cuando se usan autocargadores pesados.

Efectos ambientales de las cortas de mejora mecanizadas (con procesadora de cabezal en punta de grúa)

Las alteraciones edáficas superficiales

El conjunto de los daños edáficos no resultan más elevados en las cortas mecanizadas frente a las convencionales con motosierra —de las que se ha contado con datos procedentes de cinco operaciones de condiciones muy similares—, dado que el elemento que provoca mayores daños es la máquina de saca, de mucho mayor peso y envergadura que la cosechadora.

El valor medio del porcentaje de superficie alterada en las 17 claras en que la saca tuvo lugar mediante autocargador ha sido cercano al 11 % de la superficie total, con una profundidad media de 6 cm, superando los valores registrados en la bibliografía para este tipo de operaciones (Sirén, 1990; British Columbia Ministry of Environment, Lands And Parks & Ministry of Forests, 1995).

En cuanto al escalpado superficial, los suelos en pendiente o con un alto porcentaje de gruesos parecen resultar menos sensibles, no habiéndose determinado otros factores condicionantes. En lo relativo a la importancia superficial de las rodadas de tractor, el análisis de regresión pone de manifiesto que los factores más significativos son los siguientes:

- El porcentaje de materia orgánica y textura del suelo, resultando más sensibles los suelos con mayor porcentaje de finos (limos + arcillas) y de materia orgánica.
- La pendiente, resultando menos sensibles los suelos cuanto mayor es su pendiente.
- El peso de las máquinas (autocargadores) incrementa significativamente la profundidad de las rodadas, por lo que se pueden considerar más dañinos los autocargadores pesados.
- La humedad edáfica en el momento de la saca incrementa significativamente tanto la profundidad como la extensión de las rodadas, por lo que debería ser un factor a tener en cuenta si se desea establecer limitaciones con vistas al control de los daños.

Estos resultados son coherentes con las observaciones de numerosos autores (Froelich, 1989; Hildenrand, 1989; VV. AA. en Forsitrisk, 1995).

La compactación edáfica

Como se señaló en la Metodología, se evaluó el grado de compactación mediante penetrometría de cono. Esta técnica de medida, que registra la presión necesaria para penetrar en el terreno con una barra metálica terminada en una punta de dimensiones normalizadas, tiene el inconveniente de su dependencia de la humedad edáfica, que puede dificultar mucho el diagnóstico en cuanto a compactación edáfica si los suelos alterados e inalterados se miden en condiciones muy distintas de humedad.

Para evitar este efecto, se construyeron curvas normalizadas «Resistencia a la penetración/profundidad» para una humedad edáfica del 20 % en volumen. Se partió para ello de la interpolación, empleando curvas de regresión entre los registros medios en suelos inalterados a distintas profundidades y las humedades volumétricas, con lo que se obtuvieron los valores correspondientes a la humedad de referencia del 20 % en volumen para los suelos inalterados estudiados y a distintas profundidades. Finalmente, se relacionaron mediante curvas de regresión estos valores normalizados con los valores observados a distintas humedades volumétricas para el conjunto de los suelos, obteniéndose ecuaciones

empíricas comunes de normalización para reducir los valores observados en distintas condiciones de humedad a un valor estándar –al 20 %–, que permite su comparación eliminando el factor «humedad edáfica», es decir, valorar la compactación directamente como «incremento de la resistencia a la penetración normalizada».

Tales ecuaciones, diferentes para los valores medios de resistencia a la penetración superficial $R_{p_{SUP}}$ (media de los registros de los 18 primeros cm de profundidad) y profunda $R_{p_{PROF}}$ (media correspondiente a los valores entre 18 y 60 cm de profundidad), son las siguientes.

$$R_{p_{SUP}} (NORM) = R_{p_{SUP}} (OBS) - 44,4 \cdot (H - 20) + 1,3146 \cdot (H - 20)^2 \quad (R^2 = 77,8 \%)$$

$$R_{p_{PROF}} (NORM) = R_{p_{PROF}} (OBS) - 43,5 \cdot (H - 20) + 1,3282 \cdot (H - 20)^2 \quad (R^2 = 56,6 \%)$$

donde las resistencias a la penetración se expresan en kPa (kilopascales) y H es la humedad volumétrica expresada en porcentaje.

Se analizó la resistencia a la penetración normalizada de los suelos inalterados, llamada «intrínseca», que se muestra superior en los suelos más pendientes o pedregosos. En los suelos inalterados menos pedregosos presentan mayor resistencia «intrínseca» aquellos con menor porcentaje de limos y arcillas y de materia orgánica.

El incremento en la resistencia a la penetración inmediatamente después del aprovechamiento en las rodadas frente a los suelos inalterados (compactación), se muestra en su valor medio para las 13 claras con combinación «cosechadora de grúa-autocargador» en la Figura 10. Este incremento resultó diferente entre unos y otros suelos, dependiendo de los siguientes factores:

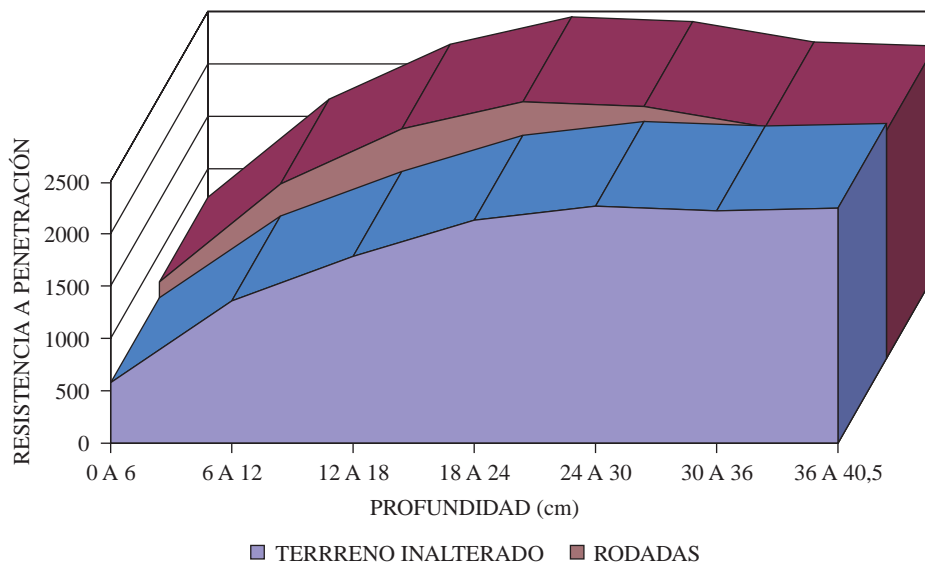


Fig. 10.–Valores medios normalizados (al 20 % de humedad en volumen) de la resistencia a la penetración en suelos inalterados y rodadas a distintas profundidades

– La resistencia «intrínseca» (esto es, la de los suelos inalterados): a mayor resistencia, menor incremento (compactación) en términos absolutos.

– La pendiente, cuyo aumento reduce la compactación, probablemente por la menor eficacia en la transmisión del peso y por su relación con texturas más gruesas o pedregosas.

– La humedad y el peso de los autocargadores empleados, cuyo aumento favorece la compactación, lo que refuerza su importancia como parámetros para el control de los daños.

– La distancia entre calles, relacionada con el número de pasadas de las máquinas. A mayor distancia entre calles, las máquinas pasan más veces por el mismo sitio y se presenta por ello una mayor compactación en las rodadas.

El valor final de la resistencia a la penetración en las rodadas, que es un factor limitante en cuanto al crecimiento de la masa remanente y al éxito de la regeneración (Smith, 1995; Fröelich, 1982), parece depender positivamente de los siguientes factores:

- De la propia resistencia «intrínseca» del suelo inalterado.
- Del peso del autocargador.
- De la humedad del suelo.
- De la distancia entre calles.

Estos resultados son coherentes con lo estudiado sobre compresibilidad y compactabilidad de los suelos por Smith (1995). Hay que señalar que, en los casos estudiados, sólo excepcionalmente se han alcanzado valores superficiales de la resistencia a la penetra-

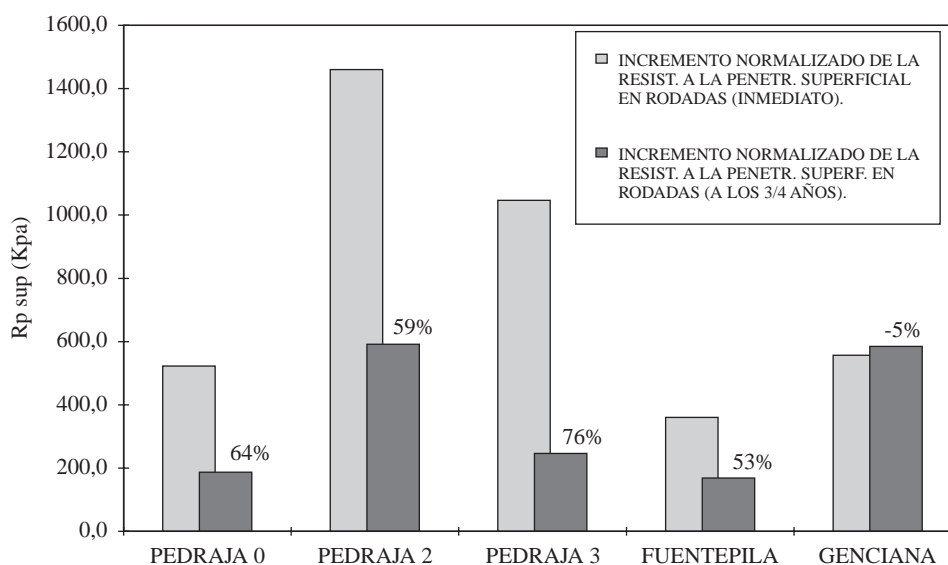


Fig. 11.—Reducción de la compactación edáfica a los 3 ó 4 años desde el aprovechamiento

ción, considerados como limitantes para el establecimiento o el crecimiento del regenerado (superiores a 2.500 kPa).

Además, la evolución de la compactación edáfica al cabo de 3 ó 4 períodos vegetativos tras la intervención, aunque sólo ha sido estudiada en 5 suelos, arroja reducciones importantes –de más del 50 %– de la resistencia adicional en las rodadas en 4 de los 5 casos, como se muestra en la Figura 11. La permanencia de este efecto negativo parece ser mayor en suelos con texturas finas.

Estos factores podrían servir para establecer una tipificación de los suelos en cuanto a su sensibilidad a la compactación, y por tanto para establecer posibles limitaciones sobre los esquemas de aprovechamiento empleados, aunque se estima que sería conveniente continuar la investigación al respecto para ampliar la cantidad de datos disponibles.

Los daños sobre la masa remanente

En el conjunto de las diecisiete claras de saca mediante autocargador, el porcentaje de masa residual dañado alcanzó un valor del 15,1 %. Se detectaron daños graves⁸, como promedio, en un 5,2 % de los pies remanentes. Estos porcentajes se encuentran por encima de los aceptados en los países con legislación al respecto.

En este caso, al contrario que al hablar de daños edáficos, es significativamente mayor el porcentaje de daños en las claras con apeo y procesado mecanizados (14,7 %) frente a la media de las cinco claras estudiadas con apeo y elaboración manual (6,2 %), por lo que se estudian por separado.

En los casos de apeo y elaboración con motosierra, la menor incidencia de los daños debidos a las cosechadoras ponen de manifiesto claramente el efecto negativo de los siguientes factores:

- Peso y envergadura del autocargador (de nuevo se manifiesta el mayor nivel de daños que conlleva el uso de autocargadores pesados).

- Distancia entre calles, cuya reducción incrementa los daños al aumentar la proporción de «árboles de borde» que en puntos estrechos o pendientes resultan rozados por las máquinas de saca.

En los casos de apeo mecanizado, se ponen de manifiesto como condicionantes de estos daños los siguientes factores:

- La pendiente, cuyo incremento dificulta el control de las máquinas, resulta el factor más importante.

- La distancia entre calles, cuyo aumento incrementa en este caso los daños por la dificultad de aproximación de la grúa de la cosechadora a los árboles del centro de la entre-calle, que da lugar a roces y heridas.

Para la especie y tipología de masa estudiadas, el efecto de estas heridas, al cabo de 3 ó 4 períodos vegetativos, no ha permitido, en los cinco casos observados, detectar problemas fitosanitarios o descensos de crecimiento en los árboles heridos.

⁸ Se definen como graves las heridas que penetran en la albura o tienen más de 200 cm² de superficie.

Los efectos sobre el biovolumen combustible

En las claras en que el apeo se ha llevado a cabo con cosechadora, se ha observado una menor producción de residuos leñosos (volumen aparente medio = 974 m³/ha) con respecto a las claras en que el apeo y elaboración se ha llevado a cabo con motosierra (volumen aparente medio = 1.677 m³/ha). Estos restos, además, quedan concentrados en las «calles» de desembosque, lo que facilita su eliminación. Este hecho pone de manifiesto las ventajas de los medios mecanizados en la gestión de los residuos.

A ello hay que añadir que la reducción en el volumen aparente de matorral es mucho mayor en las claras mecanizadas (aproximadamente, del 60 %) frente a las claras con motosierra (reducción casi inapreciable). Esta reducción se ha mostrado como reversible al cabo de un período de tres a cuatro años, en que en los casos observados se produjo un incremento de más de un 100 % de su volumen frente a la situación anterior a la clara debido a la «puesta en luz».

No obstante, esta reducción transitoria, unida a la menor producción de residuos –en volumen aparente–, puede suponer una ventaja de los medios mecanizados por la disminución del incremento pasajero en el riesgo de incendios que pueden producir las cortas de mejora.

CONCLUSIONES

El desarrollo de modelos de rendimientos y costes como los que se presentan es una herramienta para valorar las condiciones de rentabilidad de tales operaciones, útil para aspectos de gestión que comprenden desde la fijación de precios en las subastas o adjudicaciones de montes públicos hasta el apoyo técnico en el establecimiento de posibles subvenciones, pasando por la necesaria planificación de las operaciones por los agentes que las llevan a cabo.

Los rendimientos y costes globales de las operaciones dependen de las siguientes variables explicativas:

En el caso del apeo con cosechadora, por el volumen medio del pie extraído y por la pendiente.

En el caso del desembosque mediante autocargador, por la distancia de desembosque y la pendiente.

En las cortas de mejora estudiadas, tanto si el apeo se llevó a cabo con motosierra como si se efectuó mediante cosechadoras forestales escandinavas de cabezal en punta de grúa, se ha observado también una dependencia de los rendimientos y costes de parámetros fisiográficos (pendiente) y culturales (peso de la clara).

El peso de la clara es un factor primordial sobre los costes unitarios directos. Mientras que, para una densidad de corta reducida (25 m³/ha), la diferencia de costes entre una pendiente casi nula y otra del 25 % es de más de 30 €/m³. Para una densidad de corta de 150 m³/ha, esta diferencia no llega a los 6 €/m³.

Los costes unitarios directos (que no consideran factores de gran importancia, como la creciente dificultad para encontrar personal o la menor dependencia de los medios mecanizados respecto de las condiciones meteorológicas) son superiores, para la mayor parte

de las condiciones observadas, para el apeo y elaboración con cosechadora frente a los operarios con motosierra. El coste unitario de la saca con autocargador pesado es menor que el de autocargadores ligeros o medios.

No obstante, una reducción en el cociente entre costes horarios de cosechadoras y taladores, circunstancia previsible a la vista de la evolución de los costes de los medios de producción en países europeos más avanzados, haría más barata la elaboración mecanizada en casi todos los casos.

El análisis de los márgenes comerciales para el conjunto de las operaciones de aprovechamiento en claras de condiciones fisiográficas favorables pone de manifiesto su reducida magnitud: sólo se obtienen valores positivos para estos márgenes en unas condiciones fisiográficas muy buenas y para el apeo y elaboración con motosierra, mientras que los trabajos mecanizados sólo se autofinanciarían si se alcanzasen unos pesos de clara elevados.

Para condiciones fisiográficas algo más complicadas, las claras completamente mecanizadas no llegan en ninguna circunstancia a arrojar un margen comercial positivo, mientras que las operaciones con motosierra requieren para alcanzarlo unos pesos de clara muy por encima de las prescripciones selvícolas.

Los factores contemplados que se pueden modificar para conseguir alcanzar un margen comercial positivo –o, cuando menos, reducir las pérdidas– son el peso de la clara, el volumen medio del pie extraído o ambos, con el evidente riesgo que la tentación de incrementarlos por encima de ciertos límites puede suponer para los fines culturales de este tipo de cortas.

Ante la necesidad de ejecución de claras en las masas de repoblación, para lo que es más que conveniente procurar su autofinanciación, la gestión se encontrará en muchos casos con el desafío de elegir entre:

- Reducir o anular los tan necesarios beneficios para la propiedad.

- Flexibilizar las prescripciones selvícolas al uso hacia mayores pesos y/o menores frecuencias de clara, primeras claras más tardías o menos selectivas, o

- Buscar unos recursos financieros públicos muy escasos para compensar las pérdidas.

El análisis de los efectos ambientales negativos de la mecanización parece conducir a las siguientes conclusiones globales:

Los daños observados son superiores a los aceptados por la legislación en los países de nuestro entorno, lo que indica la necesidad de un mayor esfuerzo de formación y control sobre los ejecutores de los aprovechamientos.

Para el análisis de la compactación edáfica a partir de los datos de penetrometría, se ha hecho necesario establecer un procedimiento de normalización de las medidas para una humedad estándar (20 % en volumen). La compactación no resultó, en la mayor parte de los casos, severa, y en cuatro de los cinco casos en que se llevó a cabo un seguimiento al cabo de tres o cuatro periodos vegetativos desde la clara, se encontró una reducción del incremento en la resistencia a la penetración en las rodadas de más del 50 %.

Los daños registrados sobre la masa remanente, a falta de la continuación a mayor plazo en su seguimiento, no parecen revestir gran trascendencia en cuanto a la pervivencia o estabilidad de las masas –máxime cuando las superficies afectadas son reducidas.

Los medios que producen menores daños –autocargadores ligeros– o ciertas ventajas en cuanto a la gestión de los residuos –cosechadoras– coinciden con los que incrementan los costes de las operaciones. Habida cuenta de que los márgenes comerciales son, en este tipo de intervenciones, escasos, cabría estudiar la conveniencia de incentivos económicos por

parte del sector público. Sin estas medidas, la tendencia actual apunta a la utilización generalizada de medios de mayor impacto (cosechadoras sobre retro-excavadoras, autocargadores pesados, etc.), que podrían aumentar la trascendencia de estos efectos desfavorables sobre los procesos erosivos, el estado sanitario o el crecimiento futuro de las masas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de varios Proyectos financiados entre 1994 y 2001 por la Junta de Castilla y León, la Universidad Politécnica de Madrid y la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT), a los que agradecemos su confianza. Agradecemos también la colaboración de la Administración Forestal de Castilla y León en Burgos, Palencia, Segovia y del País Vasco en Álava, así como la de las empresas Central Forestal, Guipuzcoana Forestal, Forestal de ExtreCas, Grupo Losán y Tafisa.

Finalmente, con especial cariño, a los jóvenes ingenieros que han colaborado en la toma de datos: F. Pacheco, J.M. Cogollos, J.M. Néstar, A. Mota, T. Moreno, M. Fraile, R. Sánchez Mateos, J.M. Castuera, M. Garzón, R. Tejada, F. Martínez-Capel, R. Alonso, L. Arrabal, D. Martín Arribas, M. A. González Díez y J.M. Marchena.

SUMMARY

Productivity, cost and environmental effects of fully mechanised thinnings on *Pinus sylvestris* L. planted stands in Spain

20 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) commercial early thinnings, fully mechanised, in Central and North Spain are studied. Harvesting system is shortwood, while one grip harvester and forwarder (1 + 1 system) is used in 13 of the 20 operations. The analysis has been carried out from a double point of view.

On one hand, productivity and cost equations are developed from stopwatching time study data (13 for harvesters, 17 for forwarders). Both mechanised felling and hauling off by forwarders are analysed. Results are different for heavy forwarders –more than 15 t of unloaded weight– than for light or medium-sized forwarders. Regarding cost circumstances, ratio «Forest harvester to forest operator hourly wages» is nowadays close to 6.0 in Spain. At this stage, mechanised thinning cost proves to be always higher than motor-manual options. Anyway, mechanisation is necessary due to increasing difficulties to find skilled forest operators and the analysis shows that a slight increment in the above mentioned ratio would make mechanised thinnings more profitable than motor-manual. Commercial margin is also estimated for both thinning systems, concluding that silvicultural prescriptions must be often overpassed when positive margins are one of the operational targets, particularly in mechanised thinnings.

On the other hand, immediate environmental effects are also studied. Soil surface disturbance and compaction –by means of penetrometer cone index– are quantified, as well as tree damages, shrubs cover reduction and slash accumulations. Although these effects can not be considered as severe, damages are greater than those fixed by foreign legal regulations in most developed countries. Besides, some factors conditioning the damages are identified, as a basis to upgrade forest harvesting practices.

Key words: forest harvesting, thinning, forest mechanisation, time study, environmental effects, soil compaction.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BJOHERDEN R., 1995. Forest Work Study. Nomenclature. IUFRO WP 3.04.02. Ed. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Operational Efficiency. Garpenberg, Suecia.
- BOUVAREL L., KOFMAN P. D. (Editores), 1995. Harvesting early thinnings cost effectively: the present and the future. A report from the E.U. Concerted Action «Cost Effective Early Thinnings». Danish Forest and Landscape Research Institute. 403 pp.

- BRIANT A., 1998. Factors that influence forwarder productivity. Ed. Lakehead University. British Columbia, Canadá. 12 pp.
- BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF ENVIRONMENT, LANDS AND PARKS & MINISTRY OF FORESTS, 1995. The jurisdictions compared and their characteristics. Informe obtenido por INTERNET.
- CTBA, 1997. Final Report of the European Concerted Action «Harmonization of ongoing European research in the field of harvesting operations».
- FROELICH H. A., 1989. Soil damage, tree growth and mechanization of forest operations (USA). In Proceedings of the seminar on «Impact of mechanisation of forest operations to the soil», pp. 77-82. Louvain-la-Neuve (Belgium). Ed. Ministry of Agriculture. Bruselas.
- HILDEBRAND E.E., 1989. The influence of soil compaction on soil functions in forest sites. In Proceedings of the seminar on «Impact of mechanization of forest operations to the soil», pp. 149-160. Louvain-la-Neuve (Belgium). Ed. Ministry of Agriculture. Bruselas.
- MADRIGAL A., 1998. Problemática de la ordenación de masas artificiales en España. En Actas de la reunión «Ordenación de masas procedentes de repoblación». Cuadernos de la S.E.C.F.(6), pp. 13-20.
- ROTARU C., 1984. Les interactions entre les methodes d,exploitation et la sylviculture..Etude R 256. Courier de L,exploitant et du Scieur. 40 pp. Centre Technique du Bois. París.
- SIRÉN M. (Editor), 1990. Machine design and working methods in thinnings. Proceedings of IUFRO P4.02.01 Conference. Helsinki.
- SMITH C., 1995. Assessment of soil compaction sensibility of forest soils. ICFR Bulletin, N.º 8.
- SPINELLI R., 1995. Environmental consequences of thinning operations: update 1995. En BOUVAREL L., KOFMAN P.D. (Editores), 1995.
- SOLÍS A., CABRERA M., 1998. Plan de intervenciones selvícolas en la comarca de Ayllón (Guadalajara). Cuadernos de la S.E.C.F.(6), pp. 93-103.
- SUNDBERG U., SILVERSIDES C.R., 1989. Operational Efficiency in Forestry. Volume I: Analisis. Ed. Kluwer Academy Publishers. Forestry Science Serie. 219 pp.
- THOMPSON M.A., 1992. Observation and Analisis of Performance in Forest Work. In Proceedings from the International Symposium «Work Study-Measurements and Terminology» held in Göttingen (Germany) in June 1992. Pp. 202-219. IUFRO_WP 3.04.02. Ed. Institute of Forest Engineering. Georg-August University of Göttingen.
- TOLOSANA E., TORRE M., GONZÁLEZ V.M., 1997. Desarrollo y mecanización de las claras. Situación Actual, problemas de extensión y propuesta de alternativas. Revista Montes, N.º 47. Madrid.
- TOLOSANA E., 1999. El Aprovechamiento Forestal mecanizado en las cortas de mejora de *Pinus sylvestris* L. Modelos de tiempos, rendimientos y costes y estudio de sus efectos ambientales. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes de la U.P. Madrid (inédita).
- TORRE M., 2001. Conferencia sobre el Plan Forestal de Castilla y León impartida en la E.T.S.I. Montes de la U.P. de Madrid. Inédita.
- VV.AA., 1994. FORSITRISK. Soil, Tree, Machine interactions. Seminario conjunto IUFRO-Concerted Action U.E. Cost Effective Early Thinnings. Feldafing (Alemania).