

PROPUESTA TECNOLÓGICA Y LOGÍSTICA PARA APROVECHAMIENTOS FORESTALES EN ANDALUCÍA ORIENTAL

J. RUBIO; R. AGUDO; C. PRADES

(1) (2) (3)

(1), (2), (3) Grupo de Investigación de Energía y Recursos Renovables. E.T.S.I.A.M. Universidad de Córdoba. Avda. Menéndez Pidal s/n. Apartado 3048. 14080 Córdoba.

RESUMEN

Se propone un Plan de Actuación consistente en la utilización de los Sistemas de Aprovechamientos de Árbol Entero y Madera Corta, con el mayor nivel de Mecanización posible, en función de su rentabilidad, en Masas Repobladas con Pináceas en las provincias de Almería, Córdoba, Granada, Jaén y Málaga. En primer lugar se define un Marco de Actuación basado en un criterio de gestión sostenible que permite establecer un Volumen Anual de Corta, determinando la Superficie a tratar anualmente, pudiendo definir las características medias de una hectárea. Para el Aprovechamiento de la Madera en Rollo se proponen para la Fase de Saca, Autocargadores Ligeros en el Sistema de Madera Corta y Skidders en el Sistema de Árbol Entero. En cuanto a la Fase de Corta se proponen Procesadoras de Ciclo Continuo, complementadas con Corta manual. Para el Aprovechamiento de los Residuos se propone el Empacado como operación combinada con los Sistemas de Aprovechamiento de Madera en Rollo, aunque no necesariamente secuencial en el tiempo. Se realiza un Análisis de la Productividad y consecuentemente, un Análisis de Costes, que nos permitirá planificar los trabajos en el tiempo y establecer “a priori” el Sistema más rentable en función de unas condiciones específicas de trabajo.

P.C.: mecanización, sostenible, aprovechamiento, residuos, empacado, productividad.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, y en términos generales, los Tratamientos Selvícolas proporcionan Productos de escaso, cuando no insignificante, valor. Esta situación no se debe al valor de la Madera en sí, sino a problemas estructurales que afectan a todo el Sector. En el área Mediterránea, como consecuencia de una serie de factores endógenos de las economías locales (características de la vegetación, bajo nivel técnico-profesional, falta de rentabilidad de los montes, falta de “Cultura Industrial” en el contexto socioeconómico, la estructura de la propiedad de los terrenos, etc.), una parte considerable de las formaciones forestales están constituidas por árboles de pequeños diámetros (caso de muchas repoblaciones forestales con pinos). Este tipo de masas ha sufrido una pérdida de importancia progresiva para las economías locales, a la vez que éstas han sido objeto de abandono y deterioro.

Por un lado, la Madera procedente de los Tratamientos Selvícolas es exportada, casi en su totalidad, como Materia Prima para ser Transformada fuera de Andalucía y, posteriormente se importa transformada. En Andalucía no existe prácticamente Industria de Primera Transformación y, sin embargo sí existe una fuerte Industria de Segunda Transformación, de forma que nuestra Comunidad exporta Madera en Rollo a bajo precio e importa Madera Aserrada con un alto valor añadido.

Por otra parte los Tratamientos Selvícolas producen unas Residuos que, en la actualidad no sólo carecen de valor, sino que la necesaria eliminación, por razones fitosanitarias y de prevención de incendios, supone un grave problema para la Administración, a pesar de que estos Residuos constituyen un importante Recurso, tanto como Materia Prima para la Industria de Desintegración, como recurso Energético.

En la actualidad existen Tecnologías que permiten el Aserrado de Madera de Pequeñas Dimensiones y la utilización de los Residuos Selvícolas y de los procedentes del Aserrado tanto para

Astilla, como para producción de Energía Eléctrica de forma rentable y competitiva.

EXISTENCIAS Y DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA

Para el Análisis de los Aprovechamientos es necesario, en primer lugar, cuantificar los parámetros que posteriormente se utilizan como entradas de los Modelos de Análisis de Productividad Potencial de los Equipos de Aprovechamiento Forestal, así como realizar una caracterización general de la zona de estudio. Para ello se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica, elaborándose una base de datos siguiendo el siguiente esquema:

- Revisión de la información de interés existente sobre la zona.
- Selección de la escala de trabajo: Realizada en función de la información disponible, de la extensión del área de estudio y de los objetivos del proyecto. Se ha utilizado la escala 1:100.000
- Selección de la información: En función de la escala de trabajo, de la utilidad de dicha información y de la posibilidad de acceder a la misma.
- Selección del área de interés: El área de interés se ha centrado en las provincias de Almería, Córdoba, Granada, Jaén y Málaga.

Las fuentes de información que se han utilizado son:

- Mapa de Estratos de Andalucía. (TRAGSATEC). Escala de trabajo 1:50.000. Formato: Cobertura ARC/INFO.
- Mapa de Usos del Suelo CORINE-LANDCOVER de Andalucía (IGN). Escala de trabajo 1:100.000. Formato: Cobertura ARC/INFO.
- Modelo Digital del Terreno para Andalucía. Celda 20x20m. Escala de trabajo 1:50.000. Formato: fichero BIP
- Límite de Términos Municipales de Andalucía. Escala de Trabajo 1:200.000. Formato: Cobertura ARC/INFO.
- Mapa de Vías de Comunicación de Andalucía. Escala de trabajo 1: 100.000. Formato: Cobertura ARC/INFO.
- Tablas del Inventario Forestal Nacional 2 de Andalucía.

Se ha utilizado el *estrato*, definido y utilizado en el Inventario Forestal Nacional 2, como unidad de análisis, y no el monte, lo que supone un distanciamiento en la escala de trabajo en lo que podría ser un proyecto de Aprovechamiento clásico. En el IFN2 se han manejado dos criterios para la formación de los estratos:

- Intentar que sean lo más homogéneos posibles en cuanto a existencias en volumen.
 - Intentar hacer coincidir los estratos sobre una determinada clase de monte.
- (IFN2 Explicaciones y Métodos. I.C.O.N.A. 1990)

Localización de la Materia Prima

El proceso de selección de los estratos fue el siguiente:

- Escoger los estratos cuyas especies dominantes son pinos.
- Eliminación de los estratos cuyo estado de la masa es R (repoblado)
- Eliminación de los estratos cuya Densidad es menor de 400 pies/Ha o Fracción de Cobertura Cubierta menor de 40. Como excepción se han escogido dos estratos de Jaén (9 y 11) cuya densidad es menor de la indicada, pero presentan una superficie considerable.

Análisis de los datos del Inventario Forestal Nacional 2

Los Parámetros necesarios para los Modelos de Análisis de Productividad Potencial de los Equipos de Aprovechamiento Forestal, que se pueden obtener a partir de los datos del IFN2 son:

- Volumen medio de madera con corteza por árbol (m^3 /pie)
- Densidad inicial (pies/Ha)

Para determinar el Volumen medio de madera con corteza por árbol se emplean las tablas 402, 201 y 203 del IFN2 de las provincias que presentan estratos seleccionados. Para determinar la Densidad Inicial hay que tener en cuenta que los objetivos y el diseño del IFN2 hacen que la forma en la que se procesan y presentan los resultados de los inventarios de las parcelas favorezca la inclusión de áreas rasas en la superficie de los estratos. Para localizar y eliminar estas áreas rasas se cruza la cartografía digital en la que se representan la superficie de los estratos del IFN2 con otras fuentes de información sobre usos del suelo. Esta operación se realiza usando el software de ARC/INFO creando una nueva cobertura basada en las de origen y que recoge toda la información contenida en ambas, realizándose una especie de “unión” de las fuentes originales. De esta forma, cualquier elemento superficial seleccionado en base a las características aportadas por una de las fuentes, puede ser descrito según las características que define la otra fuente. La información que se cruza es el Mapa de Usos del Suelo con el Mapa de Estratos del IFN2. Los códigos del Mapa de Usos del Suelo seleccionados son: 520, 621, 625, 721, 770 y 825.

Tabla 1. Resultados de Existencias

Estrato		Superficie Ha	Vol. Medio M³/Ha	Densidad Pies/Ha
Córdoba	3	20.087	0.096	431
	4	6.747	0.077	594
Jaén	1	23.260	0.227	465
	3	5.961	0.091	640
	9	10.529	0.064	389
	11	7.296	0.072	379
	12	8.523	0.179	407
Málaga	1	3.646	0.196	461
	2	4.556	0.124	426
	4	4.341	0.177	510
	5	1.982	0.104	511
	6	4.851	0.068	540
Almería	3	4.207	0.040	892
	5	6.244	0.041	948
	6	1.715	0.049	1.167
	7	8.323	0.043	1.029
Estrato		Superficie Ha	Vol. Medio M³/Ha	Densidad Pies/Ha
Granada	1	5.384	0.119	678
	2	13.194	0.079	827
	3	5.331	0.118	627
	4	3.300	0.160	1.140
	5	4.951	0.042	1.094
	9	6.806	0.079	741
	11	2.919	0.053	1.189

(Fte: Rubio et al., 2000)

Análisis de pendientes

Se determinan cuatro clases de pendientes, en función de la variación de las Productividades de la maquinaria, y se estima la superficie total calculada según estas clases:

Tabla 2. Superficie por Pendientes

Pendiente	Superficie (Ha)	%
0 – 15 %	26.625	16,19

15 – 30 %	57.830	35,23
30 – 50 %	58.687	35,77
> 50 %	21.011	12,8
TOTAL	164.153	100

(Fte: Rubio et al., 2000)

Distancia de Saca

El método que se ha seguido para calcular la Distancia Media de Saca, es el método clásico donde se emplea el Modelo $S = K / d$ (ENCE. 1974.) (Sundberg, U. 1976), obteniéndose un valor de 423 m.

Determinación del Volumen de Madera a extraer

Una de las características de las masas repobladas es que son masas coetáneas, lo que origina una igualdad entre los tramos, sobretudo al utilizar valores medios para toda la superficie. Por esta razón, hemos considerado razonable establecer el criterio de aplicar un *Método de Cabida*, cuyo objetivo es regenerar toda la superficie en el turno. Se ha establecido un "Tramo Medio" y un "Turno Medio" para las cuatro especies de pinos, en función de su ocupación en el territorio (Tabla 3).

Tabla 3. Estimación del Tramo Medio

Especie	Periodo de Regeneración	Turno	Tramos	% de Ocupación	Tramo Medio
P. pinaster	20	80	4	25,38	1,015
P. halepensis	20	80	4	23,61	0,944
P. nigra	20	100	5	26,79	1,340
P. sylvestris	20	120	6	14,31	0,859
P. pinea	20	100	5	9,7	0,485
P. radiata	20	80	4	0,2	0,008
Valor del TRAMO MEDIO					4,651

(Fte: Rubio et al., 2000)

En cada período de regeneración (20 años) se van a tratar la 4,651 partes de la superficie total aprovechable, de tal manera, que cuando transcurra el "Turno Medio" ($4,651 \times 20 = 93,02$ años) se habrá actuado en toda la superficie.

La superficie a tratar cada 20 años es: $143.142 \text{ Ha} / 4,651 = 30.776 \text{ Ha}$.

Se puede proponer el criterio para el Tratamiento Selvícola de realizar una primera clara donde se obtenga el 60% del vuelo y una corta de regeneración del 40% del vuelo restante, pero da igual el porcentaje que se corte a efectos del Análisis Económico, puesto que se van a tomar los datos medios del periodo de regeneración, que es lo que nos interesa para el modelo económico del Sistema de Aprovechamiento. Al tomar los datos medios, es como si el criterio escogido fuera cortar un porcentaje de 50 y 50 del vuelo, actuando en la mitad del periodo de regeneración en toda la superficie.

Como consecuencia de la aplicación de este criterio se han obtenido los siguientes parámetros:

- Densidad de pies a extraer = $627 / 2 = 314$ pies/Ha
- Superficie a tratar anualmente = $30.776 / 10 = 3.078$ Ha /año

Teniendo en cuenta los datos medios y los porcentajes calculados para los distintos parámetros podemos establecer una Hectárea de Características Medias:

Tabla 4. Hectárea de Características Medias

% Superficie por pendiente	0-15 %	18.6%
	15-30 %	40.4%
	30-50%	41%
Densidad	627 pies	
Pies a extraer	314 pies	
Volumen Medio	0,10 m ³ /pie	
Distancia Media de Saca	423 m	

(Fte: Rubio et al., 2000)

APROVECHAMIENTOS

Propuesta de actuación

Se propone que la Clara sea sistemática por calles (a hecho) y selectiva entre calles. Teniendo en cuenta que los Sistemas de Aprovechamiento que se van a proponer son altamente mecanizados, se establecen los siguientes parámetros:

- Ancho de calle: 3,5 m.
- Distancia entre calles: 20 m.

Como se supone una distribución uniforme de todos los pies en la Hectárea de características medias, el porcentaje de superficie es proporcional al porcentaje del número de pies. Por lo tanto, se hace distinción entre los pies que se extraen de la calle y los que se extraen de las entre calles, representando un 15% los pies que se cortan de las calles. El total de pies a extraer es de 314 pies/Ha. Por lo tanto, el volumen medio de existencias a extraer es de 31,4 m³/Ha.

Análisis de la Productividad

Se define Productividad o Producción Potencial como la cantidad de madera que se puede producir en cada Fase del Sistema, bajo unas condiciones específicas de trabajo si no se producen efectos de “cuello de botella” o interacciones similares. El análisis de la Productividad del Sistema se basa en la duración del ciclo de trabajo de los Medios de Producción que se utilizan, entendiendo como tal a la suma de los tiempos de las operaciones parciales que necesita una máquina, u otro medio, para completar un ciclo completo de producción.

Los ciclos de los distintos equipos de cada Sistema de Aprovechamiento propuesto se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 5. Fases de los Sistemas de Aprovechamiento

OPERACIONES	SISTEMAS de APROVECHAMIENTO			
	MADERA CORTA		ÁRBOL ENTERO	
	I	II	I	II
A Pie de Tocón	Procesadora	Motoserrista	Procesadora	Motoserrista
	Empacadora	Empacadora	Selección	Desplazamiento
	Selección	Desplazamiento	Derribo	Derribo
	Derribo	Derribo	Posicionamiento	
	Posicionamiento	Desrame		
	Procesado	Tronzado		
	Empacado	Apilado		
		Apilado de residuos		
		Empacado		
	Autocargador		Arrastrador	

Saca	Carga Desplazamiento en Carga Descarga Vuelta en Vacío	Enganche Desplazamiento en Carga Desenganche Vuelta en Vacío	
A Pie de Pista		Procesadora Empacadora Procesado	Motoserrista Empacadora Desrame Tronzado Apilado Apilado de residuos

(Fte: Agudo, R. 1999)

Para la estimación de la producción potencial se utilizan una serie de modelos establecidos, basados en las relaciones existentes entre los diferentes parámetros que afectan tanto a la capacidad de producción como a la duración de los ciclos de trabajo (Prades, C. 1996). En la construcción de estos modelos, además de las relaciones mencionadas, se han utilizado datos recogidos de empresas del sector en cuanto a tiempo de duración de operaciones parciales, y variación del rendimiento en función de parámetros fisiográficos como la pendiente.

Los parámetros utilizados son los siguientes:

- Pendiente
- Número de pies iniciales
- N° de Pies a Sacar
- Longitud de las Trozas: 2.2 m
- Volumen medio de madera en rollo por árbol
- Coeficiente de apilado: 0.68 m³/est
- Distancia de Saca
- Espaciamiento medio entre calles
- Coeficiente de Generación de Residuos: 33% (Yuni en Biomasa, 1982)
- Parámetros dependientes de las Características de los Medios de Producción

La disponibilidad de las máquinas es otro factor que interviene en la estimación de los niveles de productividad y representa el tanto por ciento del tiempo previsto en el que la máquina está en condiciones de realizar trabajo productivo.

Tabla 6. Productividad de los Medios de Producción.

MEDIO DE PRODUCCIÓN	CLASES DE PENDIENTE		
	0-15%	15-30%	30-50%
PROCESADORA (Norcar 600 H) m ³ /hte	7.03	5.98	3.52
AUTOCARGADOR para Madera (Norcar 600) m ³ /hte	13.0	10.4	5.85
AUTOCARGADOR para Residuo (Norcar 600) pacas/hte	14.7	11.76	6.62
SKIDDER (John Deere 540 G) m ³ /hte	3.86	3.47	2.32
MOTOSERRISTA Rendimiento medio. m ³ /hte.	1.425		
PEÓN APILADOR Rendimiento medio. Ha/hte.	0.04		
EMPACADORA (BalaPress en Kockum 85-35)			

(Fte: Varios)

Costes de los Sistemas de Aprovechamiento

El estudio de los costes de funcionamiento de los equipos forestales se ha realizado para un periodo de amortización de siete años, por ser un periodo medio para este tipo de inversiones, que normalmente varían entre 5 y 10 años. El estudio de los costes de esta fase se basa en modelos clásicos de costes horarios de funcionamiento, costes fijos y costes variables, que se aplican a nuestras condiciones particulares. Las fuentes de información de las que se han recabado datos para determinar los factores de utilización de la maquinaria para la estimación de los costes variables, han sido las empresas OY NORCAR AB, PONSSE OY, DINGOMASA, BALA-PRESS AB, METSA y GUIFOR SL.

Tabla 7. Costes Horarios de los Medios de Producción

EQUIPOS	1 Turno (pta/hte)	Doble turno (pta/hte)
PROCESADORA	12.856	8.642
MOTOSERRISTA	1.610	
EQUIPOS	1 Turno (pta/hte)	Doble turno (pta/hte)
AUTOCARGADOR	9.757	8.263
SKIDDER	7.123	
EMPACADORA	13.711	
PEÓN APILADOR	1.225	

(Fte: Agudo, R., 1999)

En función de los costes horarios de los distintos equipos y del equilibrio de los Sistemas de Aprovechamientos se obtienen los costes de cada uno de los Sistemas para cada clase de pendiente, separando el coste del Aprovechamiento de la madera y del residuo, ambos referidos a pesetas por metro cúbico de madera. También se hace distinción entre el trabajo a un solo turno y a dos turnos, en aquellos Sistemas donde se emplea la Procesadora o el Autocargador.

Tabla 8. Coste de los Sistemas de Aprovechamiento

Clase de pendiente	S. de A.	1 Turno (ptas/m ³)			Doble Turno (ptas/m ³)		
		Madera	Residuo	TOTAL	Madera	Residuo	TOTAL
0 – 15%	mc1	2.579	644	3.223	1.865	612	2.477
	mc2	1.881	1.626	3.507	1.776	1.594	3.360
	ae1	3.046	435	3.481	2.652	435	3.088
	ae2	2.975	435	3.410			
15 – 30%	mc1	3.090	696	3.786	2.241	656	2.897
	mc2	2.068	1.678	3.747	1.925	1.638	3.563
	ae1	3.251	435	3.686	2.857	435	3.293
	ae2	3.180	435	3.616			
30 – 50%	mc1	5.325	899	6.224	3.871	828	4.699
	mc2	2.798	1.756	4.554	2.543	1.685	4.228
	ae1	4.276	435	4.711	3.882	435	4.318
	ae2	4.206	435	4.641			

(Fte: Rubio et al., 2000)

BIBLIOGRAFÍA

- AGUDO,R., 1999. *Abastecimiento de Materia Prima una Industria Transformadora de Productos procedentes de Tratamientos Selvícolas*. Proyecto Fin de Carrera. E.T.S.I.A. y Montes. Universidad de Córdoba.
- BIOMASA SA. 1987. *Biomasa SA*. Documento no publicado.
- ENCE, 1974. *Optimización de la longitud de caminos forestales a construir en las explotaciones*

forestales. ENCE. Documento interno.

ICONA, 1990. *Segundo Inventario Forestal Nacional. Explicaciones y métodos*. Publicaciones del Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Madrid.

PRADES, C., 1996. *Bases para la utilización de un Sistema de Aprovechamiento mecanizado de alta tecnología*. Tesis Doctoral. E.T.S.I.M. Madrid.

RUBIO, J., PRADES, C., AGUDO, R.; (2000). *Viabilidad Técnica y Económica para la creación de un centro de desarrollo tecnológico y de una planta industrial piloto para la transformación de la biomasa procedente de los tratamientos selvícolas de montes arbolados en productos industriales de alto valor añadido y en energía eléctrica*. Grupo de Investigación de Energías y Recursos Renovables, Universidad de Córdoba.

SUNDBERG, U. 1976. *Planning of Forest Roads*. FAO. Roma.