

SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN CASTILLA Y LEÓN. LAS EXPERIENCIAS EN CURSO.

Eduardo Tolosana Esteban*; **Yolanda Ambrosio Torrijos***; **Rubén Laina Relaño**;
Rocío Martínez Ferrari

Departamento de Economía y Gestión Forestal de la Universidad Politécnica de Madrid
E.T.S.I. Montes. *E.U.I.T.Forestal. Ciudad Universitaria s/n. 28.040. Madrid

*Autores para la correspondencia: eduardo.tolosana@upm.es; yolanda.ambrosio@upm.es

Boletín del CIDEU 5: 97-106 (2008)
ISSN 1885-5237

Resumen

Se han realizado siete experiencias de aprovechamientos de biomasa en montes de Castilla y León y Andalucía financiadas por la Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León (CESEFOR): tres en cortas selectivas de *Quercus pyrenaica* Willd. y *Pinus sylvestris* L. con saca de árbol completo con astillado o triturado fijo; dos en cortas a hecho de chopo y otra en pino silvestre con saca de restos y astillado o triturado fijo en cargadero y dos en cortas a hecho de *Pinus pinaster* Ait y chopo con preparación de biomasa para su astillado móvil. Los costes obtenidos oscilan entre 27,4 €/verde en una corta a hecho de pinaster a 54 €/verde en una corta selectiva de rebollo y es necesario continuar con este tipo de estudios para optimizar y orientar a los empresarios y consumidores.

Palabras clave: - Biomasa forestal, aprovechamiento forestal, estudio de tiempos, mecanización, productividad, coste de extracción.

Summary

Forest biomass harvesting in central Spain's Castilla y León region.

Seven forest biomass harvesting operations have been studied. Every trial has been located in central Spain's Castilla y León region and Andalucía region they financed by CESEFOR. Three experiences are mechanised thinnings of *Pinus* and *Quercus* young stands where whole trees have been hauled off and chipped or grinded on landing. Two more consist on poplar and pine clearcuts followed by branches extraction and chipping on landing. The last two trials are pine and poplar clearcuts and residues piling operations in order to be harvested by a mobile chipper. Results regarding productivity and costs from the present stage of these time studies are presented. Also some logistic factors are discussed.

Key words: - Forest biomass, forest harvesting, time study, mechanisation, logging productivity, harvesting cost.

1 INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos es un tema de plena actualidad debido a la necesidad de cumplir con los compromisos energéticos marcados por la Unión Europea: en el año 2010 el 12% de la energía consumida en España debe proceder de fuentes renovables. Es imposible alcanzar este objetivo sin aumentar el empleo de la biomasa forestal para este fin, debiendo pasar de 344MW producidos con biomasa en el 2004 a los 1.695 MW fijados por el Plan de Energías Renovables 2005-2010.

Para conseguir este objetivo se pretende generar 462.000 tep/año con residuos forestales de los cuales más de la cuarta parte se deben generar en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, 123.676 tep/año según el PER 2005-2010.

Actualmente la utilización de esta biomasa con fines energéticos requiere de una activación de un mercado prácticamente inexistente y para ello es necesario conocer la producción real de biomasa, la maquinaria más adecuada para el tratamiento y aprovechamiento de la biomasa y el transporte de la misma.

En España, donde la mayor parte de la maquinaria de aprovechamiento de la biomasa forestal procede de los países nórdicos, es necesario realizar estudios de rendimientos y costes de extracción para tener conocimiento por parte de los técnicos, propietarios, empresas de rematantes y promotores de plantas, de la necesidad de subvencionar las actuaciones y con cuánto dinero, de la oportunidad de venta y/o retirada de residuos sin coste para el propietario y las posibilidades de negocio y de inversión.

En este trabajo se presentan los resultados, obtenidos del estudio realizado por un equipo de la Universidad Politécnica de Madrid y financiados por CESEFOR, de aprovechamiento de biomasa en diferentes tipos de corta y con diferentes sistemas de extracción de la biomasa para optimizar los sistemas de trabajo, evaluar la productividad y determinar los costes, produciendo una serie de manuales para orientar sobre las prácticas más adecuadas en el aprovechamiento de biomasa forestal.

2 MATERIAL Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En primer lugar, se han caracterizado los lugares de tratamiento, que por superficie y producción de residuos puedan ser interesantes desde el punto de vista de sus aprovechamientos como biomasa, y se han definido los sistemas de aprovechamiento considerados a priori como más viables. Estos sistemas de aprovechamiento integral o integrado de la biomasa se describen a continuación:

SISTEMA DE TRABAJO 1 (para clareos o entresacas de masas no comerciales): el esquema de trabajo es un apeo con cosechadora multiárbol de árboles de pequeño tamaño, desembosque con autocargador de árboles completos o “partes de árbol” y apilado para presecado en cargadero y posteriormente astillado o triturado fijo en cargadero.

Los tipos de corta en que es posible la aplicación de este sistema son:

- Resalveos de especies sin aprovechamiento comercial, especialmente quercineas.
- Clareos de especies comerciales (pinos, hayas,...).

- Claras sobre especies comerciales, en competencia con usos consolidados (industrias de trituración)

La maquinaria existente en nuestro país para este tipo de cortas es la que se describe a continuación:

- No hay multitaladoras, aunque existe algún cabezal antiguo y posibilidad de adaptar cabezales convencionales, sin demasiado rendimiento. Una empresa de Castilla y León acaba de adquirir uno, aún no ha llegado a España.
- Existen autocargadores convencionales que se podrían usar sin adaptar, o también adaptarlos para aumentar la longitud y/o anchura de la caja en algún caso.

SISTEMA DE TRABAJO 2 (para cortas a hecho u otras finales) en que el esquema de trabajo es la separación del residuo durante la corta, desembosque en autocargador (a veces con compresor o con remolques de gran capacidad), presecado de restos en cargadero o borde de pista y astillado fijo en cargadero.

El tipo de cortas en que se puede aplicar este sistema son los siguientes:

- Cortas a hecho u otras finales de pinares (Galicia, País Vasco, Soria, Burgos, Segovia...).
- Cortas a hecho de eucalipto (Cornisa Cantábrica, oeste de Andalucía).
- Cortas a hecho de chopos (varias cuencas, especialmente Duero, zonas del Ebro, área de Granada,).

La maquinaria existente se enumera a continuación:

- Hay escasas trituradoras sobre camión – *Doppstadt* - en pinares del interior (industria de tableros), las empresas de celulosa de eucalipto tienen en proyecto adquirir una astilladora, mientras que las de chopo se inclinan por el astillado

“móvil” (*Erjo* sobre autocargador, *Pezzolato* acoplable a tractor agrícola).

- En Castilla y León, existe un prototipo de trituradora-recolectora para restos de pino y hay varios rematantes con proyectos de compra de astilladoras sobre camión.
- En Portugal, donde este es un esquema habitual para cortas finales de pinaster y eucalipto, hay astilladoras y trituradoras sobre camión, dominan los modelos *Pezzolato* y *Willibald*.

SISTEMA DE TRABAJO 3 (en cortas a hecho u otras finales) el esquema de trabajo consiste en separar el residuo durante la corta, presecado del residuo en monte y astillado móvil y saca de astillas en la propia astilladora o utilización de vehículos auxiliares con remolque descargando a contenedores de camión de transporte.

Los tipos de corta en que es posible la aplicación de este sistema son los mismos que en el caso anterior pero en superficies más pequeñas donde es difícil encontrar cargaderos y hay un mayor coste fijo por transporte de maquinaria.

Sólo hay algunas astilladoras móviles (*Bruks Erjo* sobre autocargador o *Pezzolato* sobre tractor agrícola), adquiridas por las industrias de chopo, que se emplean con frecuencia astillando en monte pero no se usan para el desembosque de astillas, para lo que se recurre a vehículos “lanzadera” auxiliares.

Las experiencias se han localizado en diferentes provincias de Castilla y León (Soria, León y Burgos) y en Granada.

Se ha localizado en diferentes provincias de Castilla y León (Soria, León y Burgos) y en Granada.

Se ha realizado un inventario antes y después de la corta (en cortas parciales) en parcelas de

20x20 m² en el que se hace un conteo diamétrico de todos los pies de la masa.

Se han replanteado subparcelas circulares, en el interior de las parcelas, de radio variable (en función de la densidad de masa) donde se mide el diámetro, altura y otras variables dendrométricas de una serie de pies muestra (Tolosana, 1999).

Se apean 3 árboles por clase diamétrica para evaluar las diferentes fracciones de biomasa, de acuerdo con la metodología establecida en los estudios de INIA (Montero *et al*, 2005), a saber: fuste, ramas de más de 7 cm de diámetro, ramas entre 2 y 7 cm y ramas de menos de 2 cm. Se pesan *in situ* con una romana y posteriormente se secarán en estufa a 105°C hasta alcanzar peso constante, con lo que se determina el porcentaje de humedad.

Con esos datos se han ajustado tarifas de peso de biomasa en función de variables sencillas de medir (las tarifas de una entrada en función del diámetro normal y para las de varias entradas en función del diámetro normal, la altura total, la altura de la primera rama viva, el diámetro de copa, etc.).

En el control de tiempos se ha empleado cronometraje discontinuo (Tolosana, 1999; Tolosana *et al*, 2004) y continuo (Ambrosio 2003; Tolosana *et al*, 2004) a la vez que se registraba el volumen de residuos manipulado.

Finalmente se determina la calidad de la astilla y su poder calorífico.

3 RESULTADOS

3.1 Sistema de trabajo 1: Clareos-entresacas de masas no comerciales con procesado multiárbol, saca de árbol completo y astillado o triturado en cargadero.

3.1.1 Resalveo en masas de rebollo (*Q. pyrenaica Willd.*) en los montes Valsemana

y Los Corrales (León) en octubre y noviembre de 2006.

Se ha realizado un resalveo fuerte sobre las masas, el diámetro medio de masa extraída es de alrededor de 10 cm, se extrajeron más de 50 t verdes de astilla por ha.

Las empresas que ejecutaron el aprovechamiento fueron *Maderas Rubial* y *Logística Florestal*.

El apeo se realizó con cosechadora *Timberjack* convencional de 165 CV con cabezal adaptado mediante “uña” adicional al trabajo como “multitalador”. El desembosque con autocargador convencional *Timberjack 1410D*, y el astillado en cargadero con astilladora sobre camión *Pezzolato 900/1000* cargando “bañeras” de 45 estéreos. La distancia a fábrica fue de 100 km.

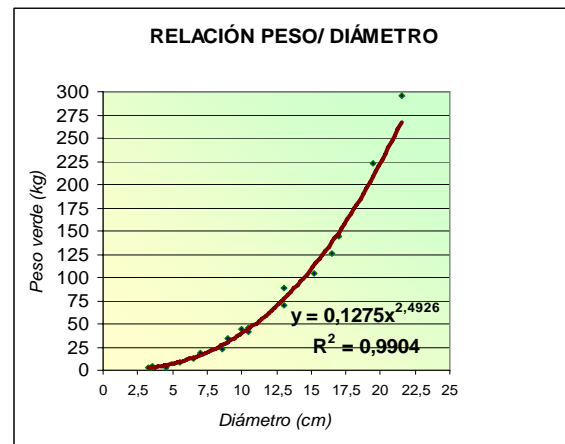


Fig.1. Relación peso de residuo (kg) con el diámetro (cm) de rebollo en Valsemana y Corrales (León).

Los costes en función de los diámetros se pueden ver en la Figura 2. El coste del apeo con el cabezal multitalador fue muy elevado al no estar bien adaptado, se considera que ese coste sería una tercera parte con un cabezal adecuado.

La astilla obtenida era de buena calidad, con un 42% de humedad, densidad verde de 400 kg/estéreo, poder calorífico en base seca de

4225 Kcal/kg y buen tamaño y homogeneidad.

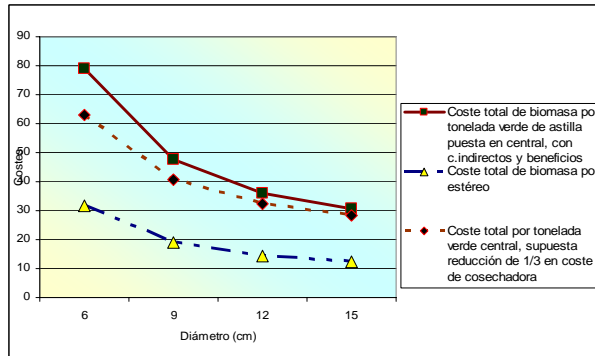


Fig.2. Efecto de los diámetros medios de la masa extraída en los costes finales de suministro de astilla (para pendiente del 16, distancia entre calles de 16 m, pesos de corta de 1000 y 2500 pies/ha y distancias de desembosque por monte de 150 m).

3.1.2 Clara en masa repoblada de pino albar (*P. sylvestris* L.) en el monte de Cabrejas del Pinar (Soria), en octubre y noviembre de 2006

Se realizó una clara fuerte (35% del área basimétrica incluyendo fracción extraída en calles) con diámetros medios de masa extraída de 14,6 cm, en que se extrajeron 47 t verdes de astilla por ha.

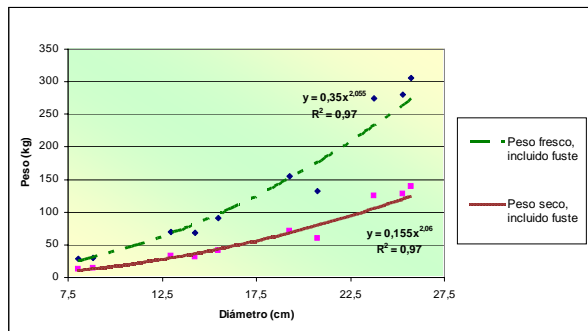


Fig.3. Relación peso diámetro, incluido el fuste, para una masa de pino silvestre en Cabrejas del Pinar (Soria).

El sistema de aprovechamiento fue de árbol completo y triturado fijo en cargadero.

La empresa ejecutante es Triturados Montero realizó las siguientes operaciones:

- Apeo y, en los pies más altos, tronzado, con cosechadora *Valmet 911* con cabezal convencional.
- Desembosque con autocargador convencional *Valmet 910*.
- Triturado en cargadero con trituradora automóvil *Willibald ESU 4800*, depositando triturado en suelo.
- Carga de camiones de piso móvil y 90 estéreos con cargador telescópico ligero *Manitou*. Distancia a fábrica de 40 km.

La calidad de la astilla fue peor que en el caso anterior (56,2% de humedad, con un poder calorífico en base seca de 4568 kCal/kg, con presencia de más gruesos y finos).

Los resultados en cuanto a rendimientos y costes aparecen reflejados en la Tabla 1.

	COSTE HORARIO, €/HORA DE TRABAJO EFECTIVO	TIEMPO DE TRABAJO EFECTIVO POR UNIDAD (m ² , t)	PRODUCTIVIDAD (Unidades/hora de trabajo efectiva y por jornada)	COSTE UNITARIO (€/unidad producida, m ³ o tonelada verde)
APEO Y TRONZADO CON COSECHADORA FORESTAL	70,56 €/h	949 cmin/t	6,32 t/h y 45,15 t/día	11,16 €/t
DESEMBOSQUE ÁRBOLES COMPLETOS EN AUTOCARGADOR	53,96 €/h	917 cmin/t	6,54 t/h y 46,72 t/día	8,25 €/t
TRITURACIÓN FIJA CON WILLIBALD Y CARGADOR TELESCÓPICO	102,26 €/h	191 cmin/t	31,64 t/h y 189,84 t/día	3,23 €/t
TRANSPORTE A FÁBRICA, PISO MÓVIL DE 90 est.				4,00 €/t

Tabla 1. Rendimientos y costes del aprovechamiento de biomasa de una clara de pino silvestre en Cabrejas del Pinar (Soria).

3.1.3 Clara en masa repoblada de pino albar (*P. sylvestris*) en monte de El Royo (Soria), experiencia en curso en julio de 2007.

Se está realizando una clara muy fuerte (49% del área basimétrica incluyendo fracción extraída en calles) con diámetro medio de masa extraída de 13,0 cm, se extraen 97 t verdes de astilla por ha.

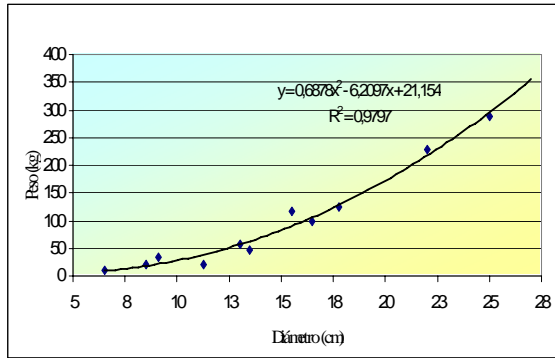


Fig.4. Relación peso de residuos diámetro, incluido el fuste, para una masa de pino silvestre en El Royo (Soria).

El sistema de aprovechamiento es de árbol completo y astillado fijo en cargadero. La empresa ejecutante es *Triturados Montero*.

En la ejecución del aprovechamiento se realizaron las siguientes operaciones:

- Apeo y, en los pies más altos, tronzado, con cosechadora *Valmet 911* con cabezal convencional.
- Desembosque con autocargador convencional *Valmet 910*.
- Astillado en cargadero con astilladora acoplada *Woodsmán 4800*, depositando astilla en suelo para carga posterior de camiones de piso móvil y 90 estéreos con cargador telescópico ligero *Manitou*.

	COSTE HORARIO, €/HORA DE TRABAJO EFECTIVO	TIEMPO DE TRABAJO EFECTIVO POR UNIDAD (m³, t)	PRODUCTIVIDAD (Unidades/hora de trabajo efectiva y por jornada)	COSTE UNITARIO (€/unidad producida, m³ o tonelada verde)
APEO Y TRONZADO CON COSECHADORA FORESTAL	70,56 €/h	486 cmin/t	11,35 t/h y 85,1 t/día	6,22 €/t
DESEMBOSQUE ÁRBOLES COMPLETOS EN AUTOCARGADOR	53,99 €/h	563 cmin/t	10,65 t/h y 82 t/día	5,07 €/t
ASTILLADO FIJO CON WOODSMAN Y CARGADOR TELESCÓPICO	106,00 €/h	366 cmin/t	16,4 t/h y 101,68 t/día	6,46 €/t
TRANSPORTE A FÁBRICA, PISO MÓVIL DE 90 est.				6,01 €/t

Tabla 2. Rendimientos y costes del aprovechamiento de biomasa en una clara de pino silvestre en El Royo (Soria).

Los rendimientos y costes de las operaciones

aparecen reflejados en la Tabla 2. La distancia a fábrica es de 40 km.

El astillado es de mejor calidad aunque la astilla estaba más húmeda (60,8% de humedad).

3.2 Cortas a hecho u otras finales con saca de restos y astillado o triturado fijo en cargadero

3.2.1 Corta a hecho de chopera en Villaverde de Mojina (Burgos) en octubre de 2006

Corta a hecho de chopos (263 pies/ha) con diámetro medio de 38 cm, en que se extrajeron 106,1 t verdes de restos por ha, procedente de ramas y hojas, correspondientes a 319 m³ de madera por hectárea.

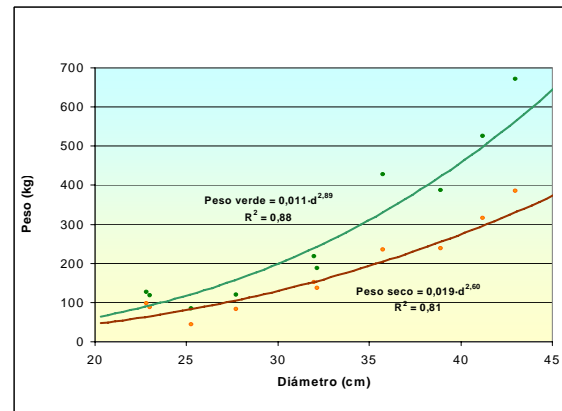


Fig 5. Relación peso de residuo, excluido el fuste, diámetro de chopo (*Populus x euroamericana*) en Villaverde de Mojina (Burgos).

La calidad de la astilla fue intermedia, densidad de 240 kg/m³, con una humedad de 45,5% y un poder calorífico sobre base seca de 4331 Kcal/kg y granulometría mejor que el triturado pero peor que la astilla de roble.

Los rendimientos y costes obtenidos aparecen reflejados en la Tabla 3. Los costes estimados de transporte fueron de 7 euro/t en camiones de piso móvil a una fábrica situada a 100 km de distancia.

	Coste horario €/h _{trabajo} efectivo	Tiempo de trabajo efectivo por unidad (m ³ , t)	Productividad (unidades/h _{trabajo} efectiva y por jornada)	Coste unitario (€/unidad producida)
Apeo, desramado. Tronzado y repaso de desrame en cargadero con motosierra.	18 €/h (+ parte prop. tractor)	1345 cmin/m ³	4,46 m ³ /h 44,56 m ³ /d	4,44 €/m ³ (madera)
Desembosque de fustes		748,12 cmin/m ³	12,48 m ³ /h 118,56 m ³ /d	4,04 €/m ³ (madera)
Aplado de residuos	50,4 €/h	140,02 cmin/m ³ aparente	87,7 m ³ aparente/h 72,8 m ³ aparente/d	0,57 €/m ³ aparente (astillas)
Astillado fijo	75,7 €/h	3.529,41 cmin/m ³ aparente	14 m ³ aparente/h 112 m ³ aparente/d	5,41 €/m ³ aparente (astillas)
Transporte a fábrica, biomasa			---	---

Tabla 3: Rendimientos y costes en corta a hecho de chopera en Villaverde de Mojina (Burgos).

3.2.2 Corta a hecho de pino albar (*P. sylvestris*) en el monte “Pinar Grande” (Soria), experiencia en curso en la actualidad (julio 2007).

Está en curso el seguimiento de una corta a hecho de *P. sylvestris* en que se está cronometrando las labores de apeo y arrastre, procurando que se ejecuten para favorecer la posterior concentración de los restos.

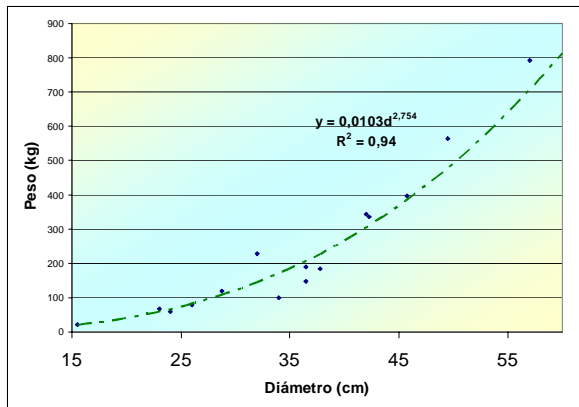


Fig 6. Relación peso biomasa, excluyendo el fuste, diámetro en *P. sylvestris* en Pinar Grande (Soria).

El objetivo es comparar los rendimientos, costes, calidad de la astilla, etc... en esquemas de astillado fijo en cargadero (Sistema de trabajo 2) y móvil (Sistema de trabajo 3).

Las empresas ejecutantes son *Maderas María* y *Garnica Plywood*.

La organización del aprovechamiento consiste en realizar un apeo con motosierra, procurando la concentración de los restos y extracción con skidder procurando no contaminar la biomasa con arena. Posteriormente se realiza una concentración de los restos con tractor con remolque y grúa – preparando astillado móvil – o extracción a cargadero para astillado fijo.

3.3 Cortas a hecho u otras finales con astillado móvil

3.3.1 Corta a hecho de pino negral (*P. pinaster Ait.*) en los montes del T.M. de Muriel Viejo (Soria), octubre de 2006

Se realiza una corta a hecho de masa madura de *Pinus pinaster* con diámetro medio de alrededor de 37 cm, en que se produjeron 40,3 t verdes de restos por ha.

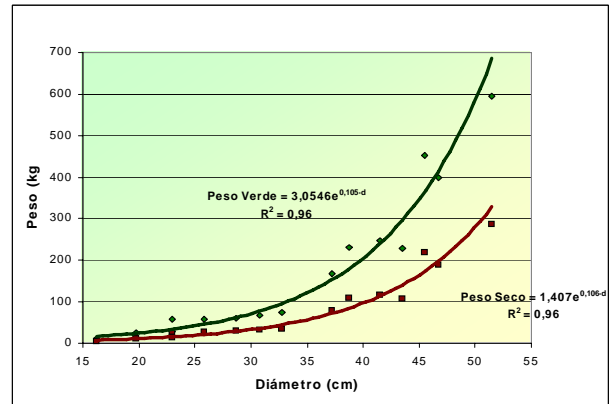


Fig 7. Relación entre el peso de la biomasa, excluido el fuste, y el diámetro, una parcela de *P. pinaster* en Muriel (Soria).

La empresa ejecutante fue *Recolecciones Forestales S.A.* que realizó las siguiente operaciones:

- Apeo con cosechadora *Timberjack* convencional de 165 CV con cabezal adaptado mediante “uña” adicional al trabajo como “multitalador”.
- Desembosque con autocargador convencional *Timberjack 1410D*.

- Previsto astillado móvil con astilladora sobre autocargador *Bruks* cargando contenedores de 35 est.

Finalmente, no se pudo contar con la astilladora por avería. Los costes de la astilladora se estimarán en base a los resultados de las experiencias del CIS-Madera (Sanz y Piñeiro, 2003).

Los rendimientos y costes aparecen en la Tabla 4.

	Coste horario, €/htrabajo efectivo	Tiempo de trabajo efectivo por unidad (m ³ , t)	PRODUCTIVIDAD (unidades/htrabajo efectiva y jornada)	COSTE UNITARIO (€/unidad producida)
Apeo con motosierra	12,6 €/h	162 cmin/m ³	37,1 m ³ /h 278 m ³ /d	0,34 €/m ³
Procesado	73,8 €/h	214,2 cmin/m ³	28,01m ³ /h 210 m ³ /d	2,63 €/m ³
Desembosque madera	54,0 €/h	454,5 cmin/m ³	13,2 m ³ /h 99 m ³ /d	4,09 €/m ³
Astillado móvil	123,4 €/h	570,7 cmin/ton	10,7 ton/h 80,3 ton/d (CIS-MADERA, 2002)	11,53 €/ton
Transporte a fábrica, madera			-- m ³ /h -- m ³ /d	-- €/M3
Transporte a fábrica, astillas			--Ton/h -- ton/d	-- €/Ton

Tabla 4. Rendimientos y costes en corta a hecho de *P.pinaster* en Muriel (Soria).

El transporte se realizó en contenedores o “bañeras” con un coste estimado de 9,8 €/t a una industria situada a 40 km.

3.3.2 Cortas a hecho de choperas en Chauchina (Granada) Benavente (Zamora) y Villaverde de Mojina (Burgos) (ensayos en curso)

Se están planteando experiencias de seguimiento y cronometraje en experiencias de astillado móvil o semi-fijo con las dos tecnologías citadas: astilladora de potencia moderada acoplada a tractor agrícola y astilladora pesada sobre chasis de autocargador, con diferentes tipos de vehículos lanzadera para extracción de astilla y correspondiendo a cortas con apeo manual (con motosierra) y procesado mecanizado en

Las empresas colaboradoras serían *Tableros Losan* y *Maderas Calero* en Andalucía y *Garnica Plywood* en Castilla y León

4 CONCLUSIONES

Hasta la actualidad se ha prestado mucha atención a los aspectos de evaluación del recurso y transformación energética y no ha sido suficiente la atención al suministro (calidad, cantidad y costes), por ello es necesario que se realicen más experiencias de investigación e industriales para la adecuación de estos sistemas a la realidad en España y así poder orientar a los potenciales empresarios y consumidores.

En estas experiencias se han determinado los principales factores que repercuten en los rendimientos y costes y se han identificado aspectos logísticos (dimensionamiento de equipos, transporte, etc.). Las Tablas 6 y 7 recogen las conclusiones para el conjunto de estudios realizados.

	Factores de influencia	Costes (euro/t verde)
3.1.1	D, Ccarga, Ddesem, Dcalle	54 (40*)
3.1.2	D, Ccarga, Ddesem	34,2
3.1.3	D, Ccarga, Ddesem	30,75
3.2.1	Logísticos fundamentalmente	40,9
3.3.1		27,4

Tabla 6. Factores con mayor influencia en los costes y costes de la biomasa en fábrica (D-diámetro de masa extraído (cm); Ccarga–capacidad de carga del medio de saca (m³); Ddesem–distancia de desembosque (m); Dcalle–distancia entre calles (m)).

*Coste total, considerando el coste de elaboración con cabezal multitalador adecuado 1/3 menor.

En el cálculo de costes se consideró un beneficio industrial de un 12,5% y unos costes indirectos de un 10% y no se ha considerado retribución a la propiedad.

	Factores logísticos
3.1.1	Dimensionamiento de equipos, transporte, dimensiones y normas de disposición de pilas y cargaderos
3.1.2	Dimensionamiento de equipos, idoneidad de medios de transporte si hay buenos accesos, inadecuación de triturado para esta materia prima, dimensiones y normas de disposición de pilas y cargaderos
3.1.3	Dimensionamiento de equipos, idoneidad de los medios de transporte si hay buenos accesos, adecuación de la tecnología de astillado a esa materia prima, problemas de averías y sus causas, dimensión y disposición de pilas y cargaderos, etc.
3.2.1	Evitar arrastre de piedras y arena en la acumulación de residuos; problemas por manejo de medios de transporte con suelo húmedo.
3.3.1	La elaboración mecanizada permite dejar los restos fuera de las calles y en cordones. Los medios de desembosque no deben pisar y contaminar con barro o piedras los restos de corta

Tabla 7. Aspectos logísticos de mayor importancia en los aprovechamientos de biomasa estudiados.

La elección de sistemas y medios dependerá del mercado, lo que en la situación presente aporta incertidumbre. Con la realidad actual de materia prima y costes, parece razonable pensar en consumidores pequeños y medios (fuera de la propia industria) frente a grandes centrales o co-combustión. Esto favorece a las tecnologías y fuentes “tradicionales” (astillado, restos de cortas a hecho).

Las industrias forestales de cierto tamaño (tableros y celulosa) tienen ventajas competitivas debido a la posible integración del suministro de biomasa en las cadenas de suministro de la madera debido a las complicaciones logísticas de ambos mercados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ambrosio, Y. 2003. Modelos de tiempos, rendimientos y costes de las operaciones semi-mecanizadas de aprovechamientos de claras de masas de *Pinus sylvestris* L. Tesis Doctoral (no publicada). ETSI Montes (UPM). Madrid. España. 320p.
- Echevarría, I. 2007. Proyecto BIO-SOUTH: Análisis tecno-económico de la producción y uso de los biocombustibles para aplicaciones de calor y frío en el sur de Europa. Seminario Aprovechamiento energético de la Biomasa Forestal en el Sur de Europa realizado en Pamplona el 24-25 de Enero de 2007.
- Montero, G.; Ruiz-Peinado, R.; Muñoz, M. 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografías del INIA: Serie Forestal. Nº13.
- Navarro, C. 2005. Experiencias de aprovechamiento de la biomasa forestal por las industrias de tableros. Seminario El aprovechamiento de biomasa forestal para uso energético. Proyecto OPTIBIOFOR realizado en Madrid el 1-2 de Diciembre de 2005.
- Sanz Infante, F. y Piñeiro Veiras, G. 2003. Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. Parte I: Situación actual y evaluación de sistemas de tratamiento. Revista CIS Madera, Vol.9, No.9 o 10, pp. 6-25.
- 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 (no publicada). E.T.S.I. Montes (U.P.M.). Madrid.
- Tolosana, E.; Vignote, S. y González, V.M. 2004. El aprovechamiento maderero. 2ª Edición. Coedición Ediciones Mundi-Prensa y FUCOVASA. Madrid.