

Manual de Buenas Prácticas PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRADO DE BIOMASA EN CHOPERAS

**Eduardo Tolosana, Rocío Martínez Ferrari, Rubén Laina, Yolanda Ambrosio,
Luis Garoz, Javier Guinea, Laura González y Tania García**

E.T.S.I. Montes & E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid, 2008.



Manual

de **Buenas Prácticas**

PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRADO DE

BIOMASA EN CHOPERAS

Manual

de Buenas Prácticas

PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRADO DE BIOMASA EN CHOPERAS

**Eduardo Tolosana, Rocío Martínez Ferrari,
Rubén Laina, Yolanda Ambrosio, Luis Garoz,
Javier Guinea, Laura González y Tania García**

eduardo.tolosana@upm.es

E.T.S.I. Montes & E.U.I.T. Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. 2008
Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid

Editado por Cesefor, año 2008.

Coordinación y revisión de los textos: Félix Pinillos y Amaia Cortijo.

Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León (Cesefor)

Impreso en España - Printed in Spain

Depósito Legal: SO-144/2008

Agradecimientos:

- *El equipo redactor de este manual agradece su iniciativa y apoyo a los responsables de la Gestión Forestal de la Junta de Castilla y León, tanto en la Dirección General del Medio Natural en Valladolid, como en los Servicios Territoriales de León, Burgos, Zamora, Soria y Palencia, así como a los técnicos y directivos de la Fundación CESEFOR, por su apoyo en la financiación, organización y coordinación de las experiencias que han servido de base al Manual. En particular, por su implicación directa y, gracias a ella, por su responsabilidad en los posibles aciertos de este texto, merecen una mención especial el director y los técnicos del Área Forestal de CESEFOR, Félix Pinillos, Juan Carlos Fernández Guerrero y Amaia Cortijo.*
- *Este texto se ha basado en el análisis de experiencias reales, llevadas a cabo por algunas empresas del sector de la madera de chopo, y no habría sido posible sin su colaboración desinteresada: Garnica Plywood, en el caso de las experiencias castellanoleonesas, y Maderas Calero en la experiencia de Granada, son empresas innovadoras que han apostado por el aprovechamiento de biomasa y la protección medioambiental, llevando a cabo fuertes inversiones, desarrollando nuevos sistemas de trabajo y entrenando a sus equipos para los mismos, lo que ha sido esencial para el desarrollo del Manual.*
- *También merece el agradecimiento de los autores y promotores de este Manual la colaboración del Laboratorio Regional de Combustibles de León (LARECOM), que ha realizado los análisis de las muestras de astillas obtenidas en las experiencias.*
- *Otros muchos técnicos, agentes profesores, propietarios, trabajadores o empresarios del sector, han contribuido con sus opiniones a lo desarrollado aquí. Los redactores de esta manual, tratando de evitar injustificadas omisiones, deseamos ofrecer un agradecimiento general, pero profundo y sincero, a todos estos amigos profesionales del sector forestal.*

Índice **g**eneral

1. INTRODUCCIÓN	2
2. EVALUACIÓN DEL RECURSO: IMPORTANCIA Y LOCALIZACIÓN	
EN CASTILLA Y LEÓN. TABLA DE DIÁMETROS – PESOS DE BIOMASA	3
3. BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS EXPERIENCIAS ESTUDIADAS	5
3.1. Descripción de las choperas	5
3.2. Descripción de las operaciones	6
4. PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA	9
4.1. Condicionantes del lugar del aprovechamiento	9
4.2. Elaboración de la biomasa	11
4.3. Extracción de la biomasa. elección del medio de transporte	12
5. - RECOMENDACIONES DE EJECUCIÓN. RENDIMIENTOS, VALORES	
OBSERVADOS Y REFERENCIAS	15
5.1. Apeo, desramado y movimiento de fustes	15
5.2. Acopio de la biomasa. Elaboración de cordones.....	17
5.3. Astillado de biomasa y extracción de astilla	19
6. ASPECTOS DE DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS Y LOGÍSTICA DEL SUMINISTRO	22
7. PRÁCTICAS RECOMENDABLES POR RAZONES SELVÍCOLAS	
Y MEDIOAMBIENTALES	22
8. PRÁCTICAS RECOMENDABLES POR RAZONES DE SEGURIDAD Y SALUD.....	24
8.1. Prácticas genéricas para los tractoristas forestales	24
8.2. Medidas específicas para la astilladora y para	
su alimentación mecanizada	27

Presentación

El presente manual está basado en experiencias reales de aprovechamientos de biomasa realizados en montes de Castilla y León, en Villa-verde de Mogino (Burgos), Santa Cristina de la Polvorosa (Zamora), Carrión de los Condes (Palencia) y Luvia (Soria). Otra de las experiencias se llevó a cabo en Andalucía, en Santa Fe, en la Vega de Granada. Estas experiencias han sido llevadas a cabo entre octubre de 2006 y enero del 2008. En el manual se hace referencia a los métodos de trabajo, las características de los montes estudiados y los valores de rendimientos y costes observados, aunque también se compara con referencias de otras fuentes.

Las experiencias han sido estudiadas por un equipo de la Universidad Politécnica de Madrid por iniciativa de la Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León (CESEFOR), que además de financiar estos estudios, actuó como nexo de unión entre las empresas ejecutoras y la Universidad, y se encargó de coordinar las experiencias representativas de los aprovechamientos de biomasa de mayor interés real o potencial en Castilla y León.

Este manual pretende familiarizar a técnicos, empresas y propietarios con el aprovechamiento de la biomasa forestal primaria, dando una idea de sus posibilidades en las choperas de Castilla y León. Se trata también de mostrar las diferentes opciones en cuanto a planificación y uso de maquinaria, proporcionar recomendaciones basadas en la práctica para su optimización, junto con referencias sobre rendimientos y costes, procedentes de experiencias propias o, en su ausencia, de referencias externas. De esta manera, se pretende aportar la información necesaria, de carácter práctico, para afrontar las dificultades logísticas, la complicación organizativa y los elevados costes del suministro de biomasa forestal.

Manual

de **Buenas Prácticas**
PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRADO DE
BIOMASA EN CHOPERAS

1

INTRODUCCIÓN

1.1

Características del aprovechamiento tradicional de las choperas

El estudio se ha centrado en los aprovechamientos de biomasa dentro de las cortas de madera en choperas, que son plantaciones a marco real en terrenos cuya pendiente es prácticamente nula. El aprovechamiento maderero de las choperas consiste en la corta a hecho de la plantación cuando llega a su turno. El principal destino de la madera es el desenrollo para tablero contrachapado y tablilla para envase hortofrutícola, seguido del palé, el tablero de partículas y la estaquilla; los restos de cortas (las ramas), se suelen amontonar y quemar. El uso de tecnologías infrecuentes hasta ahora en España, como las propias de las astilladoras, puede contribuir a que sea posible el aprovechamiento de esta fracción, junto con el puntal, de forma que se extraiga en forma de astilla, para ser empleada como biomasa para su uso energético o para otros destinos.

El aprovechamiento tradicional de las choperas se lleva a cabo por uno o dos motoseristas que apean y desraman los árboles y una pala cargadora frontal o grapa que traslada los fustes, aunque es cada vez más habitual encontrar que estos trabajos se lleven a cabo de manera mecanizada con cosechadora que apea y desrama los árboles, sola o apoyada por un motoserista.

2

EVALUACIÓN DEL RECURSO: IMPORTANCIA Y LOCALIZACIÓN EN CASTILLA Y LEÓN. RELACIÓN DIÁMETROS – PESOS DE BIOMASA

2.1

Superficie y Propiedad

De las aproximadamente 100.000 ha de chopo existentes en España en el año 2002, la Comunidad Autónoma de Castilla y León contaba con una superficie de más de 60.000 ha (Tabla I). En cuanto a la producción, en 2002 fueron cortados 265.000 m³ c/c. en Castilla y León (JCyL, 2005).

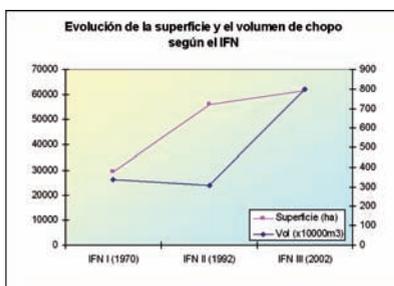
La distribución por provincias de la superficie total de choperas de Castilla y León es la que aparece en la Tabla I, y su evolución desde el año 1970 por comparación de los Inventarios Forestales Nacionales 1º a 3º, viene representada en la figura 1 y en la tabla II.

Provincia	Sup (ha)	Aprov anual (mcc)
Burgos	7532	54476
León	25465	60795
Palencia	8141	21775
Segovia	6597	35164
Soria	5961	46991
Zamora	7823	36201
TOTAL	61519	265259

Tabla I. Distribución de la superficie de choperas en Castilla y León (IFN3,2002)

La Cuenca del Duero es la que más superficie dedica a las plantaciones de chopos con respecto a la totalidad nacional (Fernández Molowny, 1998), y juega un papel clave a la hora de producir madera de esta especie -más del 50 % de la producción nacional- y para definir su valor en el mercado.

En cuanto a la propiedad y a la gestión de las choperas en Castilla y León, casi la mitad de su superficie (47 %), corresponde a fincas particulares que no tienen ningún tipo de contrato con las Administraciones Públicas, estando gestionadas directamente por sus propietarios o los titulares de las explotaciones. Más de la cuarta parte de la superficie (27,8 %), está gestionada por la Junta de Castilla y León, bien por ser de su propiedad, o bien a través de consorcios o contratos. Las Confederaciones Hidrográficas gestionan un 15,9 %, en su gran mayoría la del Duero. El resto (9,3 %) corresponde a montes de libre disposición o de propios de Entidades Locales, en que tampoco existe un contrato con las Administraciones Públicas. (Bases para la Estrategia de la Populicultura en CyL, diciembre de 2004).



	Superficie (ha)	Vol (x10000m3)
IFN I (1970)	29188	335,8845
IFN II (1992)	56255	308,3432
IFN III (2002)	61519	799,025

Figura 1, Tabla II: evolución de la superficie y el volumen de las choperas en Castilla y León

2.2 Destino de la producción de madera

Las choperas productoras de madera de calidad son plantaciones a marco real con un espaciamiento entre 5x5 y 6x6 m (por lo tanto, con una densidad entre 400 y 278 pies/ha).

Durante el aprovechamiento de la chopera, la madera del fuste y de las ramas se tronza y clasifica según los posibles destinos que puedan tener las trozas en función del diámetro y de las necesidades de su ministro. Una clasificación frecuente del destino de la madera en función de su diámetro es la siguiente:

- **Desenrollo:** trozas hasta 20- 22 cm en punta delgada y con longitudes entre 2,60 y 5,20 m (y múltiplos de 1,30 m).
- **Sierra:** también llamado tronquillo, se utiliza principalmente para tablilla de palé, necesita trozas con un diámetro mayor de unos 14 cm en punta delgada.
- **Puntal:** es la fracción hasta 7 cm en punta delgada, se puede utilizar para madera de desintegración; hace años, era utilizado como leña.
- **Ramera:** ramas y rabeón de diámetros menores de 7 cm, ramillas y hojas.

La distribución porcentual media por fracciones, junto con los rangos de porcentajes mínimos y máximos encontrados en las experiencias en que se basa este Manual, se muestran en la Tabla III.

La **fracción de ramera** hasta ahora era un residuo: los restos de corta que no tenían ningún destino industrial, tras el aprovechamiento, se reunían en un montón y se quemaban *in situ*. Por lo tanto, su astillado para biomasa puede ser una opción a considerar en cualquier caso, y con un menor coste relativo que en otras especies y tipos de corta, puesto que el coste de reunión y eliminación de esta fracción es ya asumido por los ejecutores del aprovechamiento.

El puntal está constituido por las trozas más delgadas, rectas y largas (entre 7 y 14 cm en punta delgada y con más de 1,5 m de longitud), que pueden ser aprovechadas en forma de rollo para desintegración en la industria del tablero. Puesto que el desramado, tronzado y carga en el camión de estas tro-

	% DESENROLLO	% SIERRA	% PUNTAL	% RAMERA
MEDIA	63,9	10,2	8,2	17,7
RANGO	54,0-74,0	8,0-25,0	4,5-13,5	16,5-19,0

Tabla III. Distribución por destinos de la madera referidos a porcentaje sobre peso total

zas supone mucho más trabajo que astillarlas directamente en monte, dependiendo del precio del producto en el mercado, en muchas ocasiones valdrá la pena astillarlo directamente en monte.

El motivo de que el puntal se aproveche generalmente como madera en rollo responde a condicionantes empresariales. Actualmente, el rematante que compra la madera y la aprovecha tiene como objetivo fundamental la fracción de desenrollo. Cuando la empresa que se encarga de los restos no es la principal que aprovecha la madera, no suele pagar nada por esa biomasa, simplemente ahorra al maderista o rematante principal el gasto de la eliminación de restos. Puesto que el rematante no viene a recibir nada por la biomasa astillada, suele tratar de aprovechar al máximo la madera, utilizando también las fracciones más pequeñas. Cuando es el mismo rematante el que produce y vende la madera y la astilla, le interesará, como se verá, no emplear a la cuadrilla en procesar la madera de peor calidad, dado que la productividad y el coste de la producción de astilla – de cuya venta ahora sí es el rematante el que obtiene beneficios – mejoran al incluir el puntal en el material astillado, y puede centrarse la cuadrilla en la madera de mayor valor.

2.3

Relación entre peso de biomasa y diámetro

El peso de la fracción a astillar, incluyendo el puntal, se ha estimado a partir de datos de 35 árboles apeados en las choperas objeto de estudio, en las que se hizo un inventario previo al aprovechamiento, abarcando todo el rango diamétrico. La biomasa fue pesada por fracciones (hojas, ramillas de menos de 2 cm de grosor, ramas entre 2 y 7 cm, y ramas de más de 7 cm de grosor) de acuerdo con el criterio definido por el INIA (Montero *et al.*, 2005) - y después secada a 105 °C en estufa hasta peso constante (varias muestras por pie) para calcular su humedad. El resto del fuste fue cubicado y también se tomaron muestras de rodajas a distintas alturas del mismo para determinar su densidad y su contenido en humedad.

Aparte de seguir el criterio del INIA en la separación por fracciones, también se diferenciaron las producciones de madera según destinos, de acuerdo con el criterio señalado y las indicaciones de la cuadrilla que cortaba la madera, obteniendo los resultados de la Tabla III, referidos a porcentaje sobre peso total.

Además de la media, se contempla un intervalo amplio ya que la distribución en fracciones es muy variable, depende de múltiples factores, como el diámetro, la ramosidad, la tendencia a bifurcarse o el clon. A partir de estos inventarios, también se ha estimado el

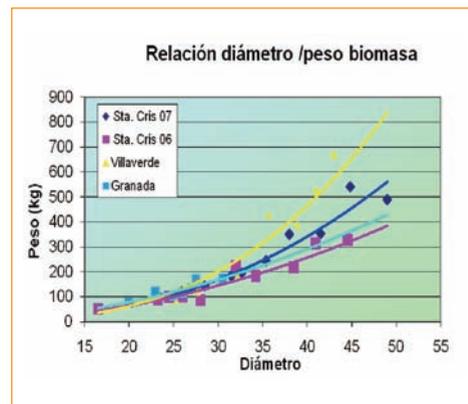


Fig 3. Relación peso de biomasa / diámetro de las choperas estudiadas

peso de la biomasa potencialmente astillable (considerando como tal la fracción constituida por el puntal más la ramera), en función del diámetro normal (Figura 2) y, a partir de esa relación y la distribución diamétrica o el diámetro medio de la masa, se puede estimar el volumen y el peso de toda la biomasa de cada chopera.

La cantidad de biomasa en una chopera de características medias está entre **70 y 100 t/ha, astillando la ramera y el puntal. Si sólo se astillase la ramera, descendería a entre 49 y 70 t/ha.**

Para tener una idea de la cantidad que potencialmente se puede extraer de las choperas de Castilla y León anualmente, se plantean dos alternativas en cuanto a la parte que se astillaría como biomasa, cuyo destino podría ser la valorización energética:

- **En la primera, se astillaría el puntal más la ramera. El peso de la biomasa en este caso equivaldría a un 34,3 % del peso del fuste (desde 28% para chopos de diámetros inferiores a 30 cm hasta 46,5% para chopos de diámetros mayores de 40 cm pasando por 34,1% para los intermedios),**
- **En la segunda, sólo se astillaría la ramera. El peso de la misma supondría sólo un 23,9 % del peso del fuste (desde 19% para chopos de diámetros inferiores a 30 cm hasta 31,5% para chopos de diámetros mayores de 40 cm, pasando por 23,6% para los intermedios).**

Suponiendo, a pesar de que fuentes sectoriales señalen que la producción real es sensiblemente mayor, que actualmente la producción de madera se encuentre en los 265.000 m³ que la estadística refleja para 2002, y para una densidad en verde de 0,7 t/m³, ello equivaldría a 185.500 t de madera. Por lo tanto, se tendría una producción potencial, usando los valores medios citados, de **64.000 t** completamente verdes por año con fines energéticos en el primer caso (astillado de puntal más ramera) y **44.300 t/año** en el segundo (astillado únicamente de ramera). Como se ha indicado, estos valores potenciales deben considerarse como conservadores, dado que algunas fuentes estiman producciones maderables netamente superiores, como el Anuario de Estadística Forestal de 2005 (MMA, 2008, *vid.* http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/mones_politica_forestal/estadisticas_forestal/pdf/14.xls), que estimaba en 441.499 m³ las cortas correspondientes al género *Populus* en Castilla y León en 2005, lo que arrojaría una producción potencial muy superior.

Siguiendo con esta relación, para una **densidad media de la astilla de 0,2 t/estéreo, en una chopera normal en la que se fuera a astillar el puntal más la ramera, la relación entre metros cúbicos de madera y estéreos de astilla sería de aproximadamente 0,83, mientras que si lo único que se astillase fuera la ramera y se procesara el puntal, la relación sería de 1,32.** Estas relaciones pueden servir a las empresas que aprovechan la madera gruesa para conocer el volumen aproximado del resto de fracciones.

3

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS EXPERIENCIAS ESTUDIADAS

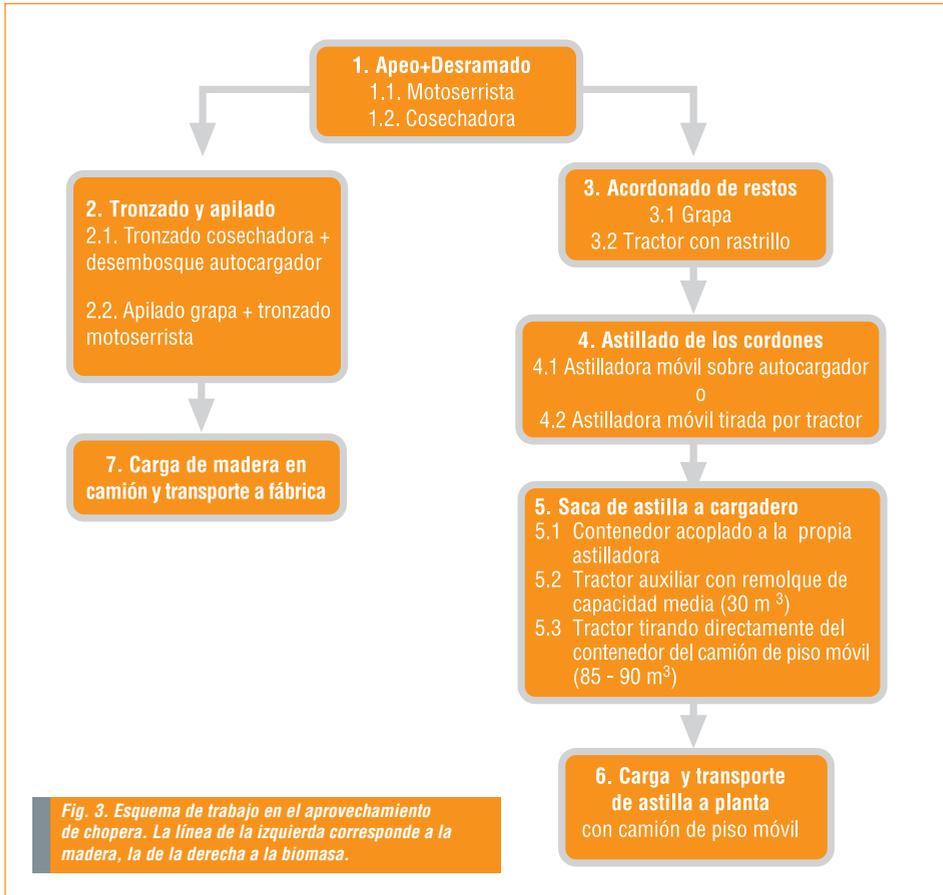
Aparte del aprovechamiento analizado con motivo de las demostraciones de campo de Expobioenergía 2006, se han estudiado de forma integral tres aprovechamientos de chopo durante el año 2007 e inicios de 2008, que se procede a describir a continuación. El seguimiento de estas tres experiencias, que eran aprovechamientos reales llevados a cabo por empresas del sector, se llevó a cabo de forma exhaustiva durante todas las fases de los trabajos, con un inventario previo cuando fue posible, y cronometraje y control de rendimientos de todas las máquinas que intervenían en todos los casos. En las tres experiencias, se incluyó como fracción a astillar tanto el puntal como la ramera, puesto que esta es la metodología aplicada por la mayoría de las empresas que ahora mismo realizan el aprovechamiento de la biomasa. Dado que el objetivo de este estudio es el seguimiento de experiencias lo más próximas a la realidad que sea posible, se desestimó la realización de pruebas con otros posibles sistemas de aprovechamiento.

Para que el aprovechamiento de biomasa tenga sentido, debe estar integrado en el aprovechamiento de madera; el apeo debe orientarse para que los restos queden agrupados, estos se deben acordonar antes de ser pisados por las máquinas... , en caso contrario, la reunión y astillado resulta inviable, como se detallará en los siguientes apartados.

Los posibles sistemas integrados de aprovechamiento, en el presente caso, se muestran en el esquema de la Figura 3.

De entre los esquemas productivos posibles, se escogieron tres sistemas, que reflejan la práctica empresarial real más extendida, y se describen resumidamente a continuación:

- **Sistema 1**, en Santa Cristina de la Polvorosa (Zamora), apeo y procesado con motoserrista y pala cargadora frontal o "grapa", que agrupaba también la biomasa.
- **Sistema 2**, en Lubia (Soria), apeo y procesado de árboles con cosechadora y motoserrista, astillado de la biomasa sin acordonar.
- **Sistema 3**, aprovechamiento de una choperas en Santa Fe (Granada), con cosechadora y motoserrista el apeo y procesado de los árboles, acordonado de biomasa con cargador telescópico y astillado.



El **Sistema 1** responde al aprovechamiento tipo que se viene realizando en las choperas castellanoleonesas en cuanto al aprovechamiento de la madera (motoserristas más grapa), y el astillado de la biomasa, previamente acordonada, con una astilladora de potencia elevada.

En el **Sistema 2** el apeo es mecanizado y el astillado se lleva a cabo con la misma astilladora que en el sistema 1, pero sin acordonamiento de restos.

En el **Sistema 3**, el apeo es también mecanizado, pero se prueba una máquina de poca potencia en comparación con la astilladora de las otras dos experiencias, pero de más fácil y económica movilidad, que puede ser interesante en el aprovechamiento de choperas de escasa superficie (caso muy común).

Las características de estos sistemas de trabajo en cuanto a la forma y medios de ejecución de las distintas fases son las que se presentan en la Tabla IV.

	APEO	REUNIÓN RESTOS	ASTILLADORA	TIPO DE MOTOR	TIPO DE TECNOLOGÍA (DISCOS O TAMBOR)	PARTE APROVECHADA COMO BIOMASA
Sta. Cristina (Sistema 1)	Manual	SI	Erjo Oswab	Motor propio de 588 c.v.	Tambor	Puntal más ramera
Lubia (Sistema 2)	Mecanizado	NO	Erjo Oswab	Motor propio de 588 c.v.	Tambor	Puntal más ramera
Sta. Fe (Sistema 3)	Mecanizado	SI	Pezzollato 480/660	Sin motor propio. Accionada por el motor de un tractor de 210 c.v.	Tambor	Puntal más ramera

Tabla IV: Caracterización de los Sistemas de trabajo en los aprovechamientos estudiados

3.1 Descripción de las choperas

La distribución diamétrica de las choperas se muestra en la Figura 4, y sus principales características se presentan en la Tabla V.

	ØMEDIO (cm)	H MEDIA (m)	V. MEDIO (m³)	EDAD	MARCO
Sta. Cristina (Sistema 1)	35	32,2	1,5	14	5x5
Lubia (Sistema 2)	28	x	0,8	28	5x5
Granada (Sistema 3)	25	24,5	0,7	10	3,5x4

Tabla V: Caracterización de las choperas estudiadas

La chopera del Sistema 1 era una plantación de 14 años, con marco de plantación 5x5 y de muy buena calidad. La superficie de la chopera era de aproximadamente 1,5 ha, con un total de 601 árboles, y un diámetro medio de 34 cm.

En cuanto al Sistema 2, se ensayó sobre una choperas de escasa calidad y muy pasada de turno, con una edad de 28 años y un diámetro medio inferior a 30 cm. Esta choperas tenía muchos árboles secos y el corazón de la madera estaba oscurecido.

Finalmente, la choperas correspondiente al Sistema 3 contaba con una superficie de 1,75 ha, una densidad de 714 pies/ha - marco de 3,5 x 4 m -, y un diámetro medio de 25 cm. El turno de esta choperas fue de tan sólo 10 años. Las choperas en Granada son muy diferentes a las castellanoleonesas: el marco de plantación y el turno son menores, y además, se planta a menor profundidad y se emplean clones diferentes...

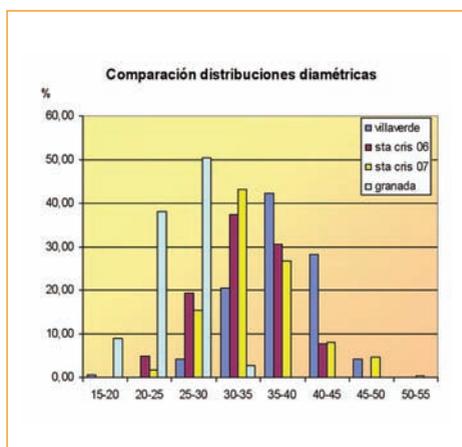


Fig. 4: Distribución diamétrica de las choperas donde se han llevado a cabo los estudios de rendimiento en el aprovechamiento de biomasa

En la Vega de Granada, los crecimientos son mayores que en la Cuenca del Duero, y optan por ello por turnos más cortos, lo que está en parte condicionado por las empresas madereras de la zona. Al estar los árboles más próximos entre sí en este sistema, son menos ramosos, y por tanto tienen un menor porcentaje de biomasa que los de las choperas castellanoleonesas, lo que se compensa al haber un mayor número de pies por hectárea.

3.2

Descripción detallada de operaciones

Sistema 1: En la choperas de **Santa Cristina** el apeo se realizaba de forma manual, con **motosierra y cargadora frontal de pinzas ("grapa") Caterpillar 924G**. El apeo y desramado de los árboles lo realizaba un motoserista, con ayuda de la grapa en caso de tener una caída difícil. La grapa recogía los fustes y los apilaba en cargadero, donde eran tronizados por unos motoseristas. Mientras los motoseristas tronzaban los fustes, la grapa acordonaba los restos para su posterior astillado, realizado por una **astilladora de tambor y con motor propio Erjo Oswab de 588 CV, integrada en un chasis de autocargador John Deere 1420D**. El sistema de astillado era móvil a lo largo del cordón, descargando sobre un tractor que avanzaba con la astilladora.

Sistema 2: En Luvia, el apeo, desramado y tronzado de los árboles se realizaba con una cosechadora **Ponssé de 250 CV**, con la ayuda de un motoserista auxiliar que cortaba los árboles, mientras que el cabezal de la cosechadora agarraba el fuste a unos tres metros de altura para orientar la caída en caso de que esta fuera difícil. La cosechadora en su avance iba abriendo calles amplias, dejando las trozas de desenrollo y las de sierra en un mismo lado de la calle pero separadas entre sí, y los restos para astillar en el otro. En este sistema no se acordonaban los restos, por lo que la astilladora (la misma del Sistema 1), tuvo que recoger los restos dispersos.



Fig. 5 y 6: Apeo manual con apoyo de la grapa y desramado en Santa Cristina (Sistema 1)

Los trabajos de los Sistemas 1 y 2 fueron llevados a cabo por cuadrillas subcontratadas por la empresa consumidora, el grupo industrial Garnica Plywood. En ambos casos, el transporte a fábrica se realizaba en un **camión rígido con remolque, dotado de una grúa** que permite la carga y descarga de las trozas por sí mismo, y el transporte de la astilla en camiones de piso móvil de 90 m³, cargados con palas ligeras de brazo telescópico.



Fig. 7 y 8: Astilladora Erjo (izquierda) y camión rígido con remolque y grúa cargando las trozas (derecha).

Sistema 3. El aprovechamiento de la chopera granadina corrió a cargo del aserradero Maderas Calero, que habitualmente compra las choperas y realiza su aprovechamiento con medios propios para autoabastecerse, vendiendo la astilla proveniente de los restos de corta a una fábrica de tablero.

El apeo lo realizaba un **motoserrista**, con apoyo de una cosechadora (realmente una **retroexcavadora adaptada Komatsu con cabezal procesador Keto 750**), que sujetaba el tronco en altura para orientar la caída. A continuación la cosechadora desramaba y tronzaba el árbol, separando trozas según destinos. La madera era llevada a fábrica directamente por un tractor con remolque equipado con teleros, ya que la empresa opera en un radio de acción de pocos kilómetros.

El acordonado de los restos se realizaba con una **cargadora telescópica Helca JCB** que tenía acoplado un rastrillo, como se puede ver en la figura 7. La **astilladora era una Pezzolato 480/660 de tambor, sin motor propio, accionada por un tractor agrícola FENDT 916 de 210 CV.**, que iba recorriendo los cordones, alimentándose con la grúa, y descargaba sobre un remolque de unos 35 estéreos, arrastrado a su vez por otro tractor agrícola que se colocaba en paralelo a la astilladora. El tractor descargaba la astilla en alguna zona próxima a la chopera que tuviese un suelo firme, a ser posible asfaltado.



Fig. 9 y 10: Acordonamiento de restos con pala telescópica con rastrillo (izquierda) y astillado móvil con astilladora Pezzolato 480/660 (derecha), en el Sistema 3.

4

PLANIFICACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA

Antes de comenzar el aprovechamiento de la biomasa forestal en la chopera, se deben tomar ciertas decisiones sobre la logística del aprovechamiento, en cuanto al nivel de elaboración con que se va a tratar la biomasa, en definitiva, la calidad del producto que se va a producir, y el medio o medios de transporte con los que se va a contar para extraer la biomasa de la chopera y llevarla al centro de consumo.

En este tipo de aprovechamiento, como se detallará, se debe contemplar la logística de una manera integral, procurando durante el apeo y desramado de los pies que los restos de corta queden lo más ordenados y limpios que sea posible para su posterior acordonado.

4.1

Condicionantes del lugar del aprovechamiento.

La decisión de astillar o no los restos de corta de una chopera dependerá de muchos factores, aunque siempre será la mejor manera de gestionarlos desde el punto de vista medioambiental, ya que su quema o triturado en la misma chopera sería neutra en relación con las emisiones de CO₂, mientras que el uso de la astilla puede suponer, si tiene destino energético, la reducción en el consumo de combustibles fósiles y, por tanto, de emisiones de CO₂, y si tiene otros destinos, al menos un almacenamiento de CO₂ a corto o medio plazo. Desde este punto de vista, siempre será conveniente el aprovechamiento, y se tratará de buscar el sistema menos costoso económica y medioambientalmente de aprovechar esta biomasa. Una serie de factores importantes a considerar son los siguientes:

- **El tamaño del aprovechamiento.** Cómo se estudia más detalladamente en el apartado de costes, el transporte de las máquinas al tajo supone unos costes fijos de explotación muy elevados, por lo que si la chopera es pequeña, estos resultan difíciles de asumir. El tamaño medio de las choperas en Castilla y León es de 1,07 ha (Calleja Sánchez, 2007). Para las más pequeñas, en función del tamaño del consumidor, una opción interesante puede ser utilizar astilladoras de menor potencia, con rendimientos menores pero con costes de transporte también inferiores, por sus menores limitaciones a este respecto, como en el ejemplo del sistema 3.

- **La carga de biomasa a extraer por hectárea.** De acuerdo con fuentes de la empresa sueca Sydved, en 2005 se consideraba rentable extraer la biomasa por encima de 40 a 50 toneladas verdes de restos por hectárea, para restos de cortas a hecho. Desde entonces, la demanda ha aumentado, lo que ha hecho subir los precios y, por tanto, entrar en rentabilidad ciertos aprovechamientos con producciones inferiores. En las choperas estudiadas, la cantidad de biomasa a extraer está entre 70 y 100t/ha (1t verde \approx 2,6 MWh, para la astilla de chopo), lo que parece que haría que estuviesen dentro de los límites de la rentabilidad, al menos si se astilla tanto la fracción de ramera como el puntal, siendo dudosa si sólo se astilla la fracción de ramera. En todo caso, esta decisión dependerá del precio y la forma de presentación del material requerida por cada uno de los posibles usos de esta biomasa.
- **Matorral.** Si no se realizan gradeos durante los primeros años del turno, es posible que la chopera esté invadida por matorral que dificulte el trabajo al impedir la visión de la base del tronco. Esto aumenta la posibilidad de colisión del espadín con piedras y provoca que los tocones queden más altos en el caso de apeo mecanizado, y en el apeo manual hará que el trabajo sea mucho más penoso para los motoserristas. En general, la selvicultura característica de las choperas de producción incluye los gradeos, lo que contribuye a reducir este problema.
- **Localización de cargaderos.** Se trata de un factor crítico tanto para la madera como para la astilla. Normalmente, los cargaderos de madera están dentro de la chopera, ya que estas se encuentran sobre terrenos sin pendiente y de fácil accesibilidad para los camiones, evitando zonas que se puedan encharcar fácilmente.



Fig. 11 y 12: Montón de astillas sobre un solado de hormigón (izquierda) y sobre el terreno en la misma chopera (derecha.)

El punto de acopio de la astilla no debe necesariamente coincidir con el de la madera, aunque debe estar próximo a la chopera. Si es posible, los restos o las astillas se deben dejar sobre un suelo asfaltado o con solera de hormigón para evitar que se mezclen con la tierra y que por tanto disminuya la calidad de la astilla. Cuando esto no sea posible por la ausencia de un cargadero solado próximo a la chopera el acopio se efectuará en un punto de fácil acceso, donde los camiones accedan y puedan ser cargados adecuadamente.

- Para tener una idea de **la superficie necesaria de cargadero, se necesitarán 5 m² de superficie por tonelada de astilla**, suponiendo que el montón de astilla alcanza una altura máxima de 2,5-3 metros de altura. Si, por ejemplo, se tiene una chopera de 2,5 ha, con una densidad de restos de 80 t/ha, se extraerían 180 toneladas de astilla, por lo que, suponiendo una eficiencia en la extracción de restos del 90%, se necesitaría una superficie mínima de 900 m² en caso de que los camiones no vayan a cargar las astillas hasta después de terminados los trabajos.
- **Distancia de transporte a la central de suministro.** La distancia de transporte a la central de suministro condicionará la rentabilidad del aprovechamiento, debiéndose seleccionar adecuadamente tanto el método de tratamiento de la biomasa bruta como su forma de transporte.

4.2

Elaboración de la Biomasa

Una de las primeras decisiones que se deben tomar antes de iniciar un aprovechamiento de la biomasa forestal en cualquiera de sus variantes es el esquema general del aprovechamiento en cuanto a la **elaboración que se va a dar a la biomasa** antes de entregarla al demandante (que en principio, será un consumidor final, pequeño o grande, o bien un almacenista con capacidad de procesar la biomasa en un "terminal logístico" o centro de almacenamiento y procesado).

La decisión dependerá de las capacidades y especificaciones que este demandante imponga. En general, los demandantes son tanto más exigentes cuanto menor es su tamaño, como se especifica a continuación:

- En aplicaciones térmicas a escala doméstica o de pequeñas colectividades se exige astilla limpia, de granulometría pequeña, y lo más seca posible.
- En el extremo contrario estarían los grandes consumidores o terminales logísticos con capacidad para el procesamiento posterior de la biomasa, que admitirá cualquier categoría de biomasa, aunque la pagará a diferente precio en función de la humedad, tamaño y homogeneidad de las partículas, contenido en impurezas, etc.

En este último caso, la decisión sobre **si procesar o no la biomasa en monte** o cargadero es una cuestión de distancia de transporte, con el principio de que, dado que la preparación de la biomasa – astillado, limpieza, etc. – es siempre más eficaz y barata en destino. La mayor ventaja de su procesamiento en origen es la reducción de los costes de transporte.

En el caso de las choperas, el astillado *in situ* de los cordones es la opción más apropiada, ya que las choperas no están muy concentradas, de modo que el área de trabajo de una empresa de suministro o aprovechamiento de chopo es grande y las distancias podrían ser excesivas para el transporte de biomasa bruta (o bien los centros logísticos serían pequeños si sólo atendieran distancias de 25-30 km). No obstante, en el área más próxima al centro de consumo de biomasa se podría pensar en acarrear directamente la biomasa, especialmente si las choperas fueran pequeñas y los costes fijos debidos al transporte de la astilladora fueran elevados.

Además, **en las choperas las astilladoras pueden trabajar con rendimientos altos**, con una alimentación eficaz y continua, puesto que se trata de terrenos sin pendiente y abiertos, donde el operario no tiene que maniobrar mucho, ni con el tractor, ni con la pluma de la grúa para alimentar a la máquina y, como se ha indicado, se pueden alcanzar densidades de restos elevadas, entre 70-100 t/ha.

En este tipo de trabajos se opta por el astillado móvil o semimóvil en vez de transportar la biomasa a un centro logístico puesto que en las choperas, las condiciones del terreno suelen ser tan favorables que son equiparables a las que se pueden dar en un terminal.

La posibilidad de poder acordonar la biomasa en fajas largas a lo largo de toda la choperas hace que la alimentación de la astilladora sea continua y eficaz. En este caso, se puede hablar de astillado semimóvil porque la mayoría de los desplazamientos de la astilladora son a lo largo del cordón como los que se producirían en un astillado en planta o cargadero. Así, generalmente se opta por astillar *in situ* puesto que el transporte de astillas es más rentable que el de restos, y en este caso no se ve compensado por unas condiciones notablemente mejores para el astillado.

Un aspecto importante en cuanto a la calidad de la astillas es la presencia o no de hojas en el árbol. Las hojas disminuyen la calidad de la astilla, al aumentar su contenido en cloro y azufre y el porcentaje de cenizas. Además, a la hora de acordonar los restos, las ramas arrastran más tierra si tienen hojas.

Puesto que las choperas se cortan prácticamente a lo largo de todo el año, es inevitable su aprovechamiento durante el periodo foliar. Durante esta época, se podría esperar a que las hojas se cayeran de las ramas antes de astillar los restos (al menos un par de semanas), de manera que la astilla contuviera menos impurezas y se extrajera menor cantidad de nutrientes del terreno. Esto sería complejo, porque la hoja tiende a secarse en los ramillos y, sobre todo, por razones logísticas. Una alternativa podría ser limpiar las astillas de materiales de origen foliar por procedimientos de separación posteriores (soplado, por ejemplo).

4.3

Extracción de la biomasa. Elección del medio de transporte

Durante el astillado, cobra mucha importancia la parte organizativa en cuanto a la extracción de la biomasa, ya que puede afectar directamente al rendimiento de la astilladora. Por un lado, se debe valorar dónde se deposita la astilla según sale por la cañonera de la astilladora, y por otro, el tipo de transporte que se va a utilizar para llevarlo a destino.

Respecto al primer aspecto, donde depositar la astilla según sale de la cañonera, se plantean diferentes opciones:

- Que la astilladora posea su propio contenedor donde depositar la astilla.
- Que vaya acompañada de un tractor con remolque en paralelo.
- Astillar directamente sobre el contenedor de un piso móvil, bien acoplado a un tractor o entrando directamente con el camión en la chopera.

Lo que siempre se ha de procurar es que el tiempo de espera de la astilladora en cambiar un remolque o camión lleno por otro vacío, o el tiempo que emplea en volcar su contenedor, sea el mínimo.

En cuanto al medio de transporte, puesto que las choperas en la mayoría de las ocasiones son de fácil acceso, la opción mayoritaria es el camión de piso móvil con un semi-remolque de gran capacidad. Con este tipo de vehículos se pueden plantear dos opciones para el llenado del camión.

- **1. Acoplar el contenedor del piso móvil o los contenedores de un camión con remolque a un tractor o entrar directamente con el camión a la chopera.**

En cualquiera de los casos, el remolque o contenedor podría transitar por la chopera en paralelo a la astilladora y ser cargado directamente por ella. Este sistema tiene alto riesgo de quedar parado fácilmente. Si el camión se retrasa o se atasca, la astilladora no puede trabajar, puesto que no tiene sistema de acumulación de astillas.



Figura 13: Pala auxiliar necesaria si se descarga en suelo

El astillado sobre el contenedor del piso móvil es una opción interesante en el caso de disponer de una astilladora potente que tenga un rendimiento alto. En condiciones favorables, como la chopera del Sistema 1, con un rendimiento de astillado y descarga de más de 15 t/hora productiva

(siendo $1t \approx 5$ estéreos), se puede llenar una tolva de 15 estéreos en 10,7 min de tiempo productivo; si se descuenta el tiempo de descarga (1,34 min), se puede astillar 15 estéreos en 9,35 min., por lo tanto se tardaría en llenar un camión de 90 m³ aparentes 56,1 minutos.

El llenado de un camión de piso móvil con una pala cargadora lleva unos 25 minutos, de manera que al llenarlo directamente desde la astilladora se tardarían alrededor de 30 minutos más. Por lo tanto, pagando al transportista un poco más por el tiempo empleado en la carga del camión, se ahorraría el coste de añadir la pala cargadora al sistema y se evita tirar la astilla al suelo, con la fuente de impurezas que ello supone al recogerlas. Esta opción se plantea más detalladamente en el capítulo de costes y rendimientos.

- **2. Astillado sobre un remolque de menor capacidad** que haga los viajes a cargadero para descargar la astilla en el suelo o sobre camión. Esta forma de trabajo permite trabajar a la astilladora a pleno rendimiento si se dispone de más de un remolque, pero el sistema incorpora, salvo que se pueda garantizar una logística compleja de “ruedas de camiones” coordinadas con el tractor, un nuevo elemento, la pala cargadora, y supone una fuente adicional de impurezas. Se debería evaluar la disponibilidad de camiones, la calidad de la astilla demandada, los posibles costes de mantenimiento incrementados y el precio hora de la pala cargadora (figura 13).

En el astillado sobre remolque, se encuentran dos sistemas diferentes;

- **La astilladora descarga sobre un remolque que avanza paralela a ella.**
- **La astilladora tiene su propio contenedor acoplado.**

En el caso de la **astilladora descargando sobre remolque**, se ha de planificar el trabajo de manera que la máquina tenga los menos tiempos muertos posibles.

Por ejemplo, en el **Sistema de trabajo 3**, el remolque tenía una capacidad de 35 estéreos y se llenaba en poco más de una hora. En este tiempo, al tractor que transportaba la astilla hasta el punto de acopio le tenía que dar tiempo a ir, descargar y volver. Si el tractor circula a una velocidad media de 25 km/hora y tarda 10 minutos en vaciar el remolque, la distancia máxima a la que se puede desplazar es de 20 km, incluyendo la ida y la vuelta, es decir, 10 km de distancia entre la chopera y el cargadero. Teniendo en cuenta que se suele desplazar sobre caminos cuya transitabilidad puede ser mala, se habría de buscar en ese caso un cargadero a una distancia no mayor de 7,5 km. En otros casos, habrá que hacer la estimación que corresponda al rendimiento de la astilladora, la capacidad del remolque y la velocidad del tractor.

Si el cargadero está a una distancia mayor de la que el sistema admite, se ha de contar con más de dos remolques para que la astilladora nunca esté parada en espera de uno vacío. Por ejemplo, un equipo de dos tractores y tres o más remolques. Un tractor haciendo viajes al punto donde se descargue la astilla y otro tractor en la chopera para mover el remolque paralelo a la astilladora, que puede ser el mismo que acordone los restos ya que no hay que estar moviéndolo continuamente.

En el Sistema 3, entonces, el tiempo de espera por cambio de remolque era casi el 30% del tiempo de presencia de la astilladora en la chopera, lo que significa que se perdía muchísimo tiempo de trabajo desde que se terminaba de llenar un remolque hasta que se colocaba otro paralelo a la astilladora.

Para reducir estos tiempos, el trabajo debe estar bien coordinado, y en caso de que el cargadero de astilla esté a una distancia mayor que la que le permita ir, descargar y volver antes de que el otro remolque haya sido llenado, se debería disponer de remolques adicionales para evitar que la astilladora esté parada.

Cuando **las astilladoras tienen su propio contenedor de astillas acoplado**, como la Erjo Oswab de los sistemas 1 y 2, se ven muy beneficiadas por el hecho de no tener que depender de un tractor auxiliar en su trabajo. La astilladora va avanzando a lo largo del cordón según va recogiendo los restos, sin preocuparse de que el remolque avance al mismo tiempo.

Una vez termina de llenar su contenedor, descarga sobre un remolque auxiliar que es el que hace los viajes al lugar de acopio para descargar. De esta manera, la astilladora evita perder tiempo en desplazamientos aumentando notablemente su rendimiento. La astilladora Erjo Oswab llena su tolva en 10-15 minutos, según sean las condiciones de la chopera, y en descargar sobre el tractor emplea entre uno y dos minutos.

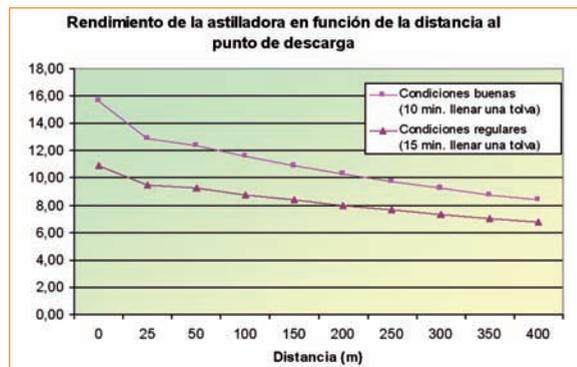


Fig. 14: Rendimiento de la astilladora en función de la distancia al punto de descarga en caso de no tener el remolque auxiliar

Suponiéndole a la astilladora una velocidad de 3,5 km/h, que tarda en vaciar su tolva 1,5 minutos y 2 minutos adicionales en maniobrar para descargar las astillas en cargadero, la productividad de la astilladora trabajando sin tractor auxiliar para el desembosque de astillas se expresaría con las ecuaciones siguientes.

- En condiciones favorables, que tarda en llenar la tolva 10 min.
 $Prod (t/h) = 180 / (13,5 + d/41)$
- En condiciones poco favorables, que tarda en llenar la tolva 15 min.
 $Prod (t/h) = 180 / (18,5 + d/41)$

En el gráfico de la figura 14 se representa la pérdida de rendimiento que se produciría por el hecho de llevar a descargar los restos la propia astilladora, lo que hace evidente que resulta conveniente que sea un tractor auxiliar el que realice los desplazamientos al punto de acopio.



Fig. 15: Astilladora volcando su contenido sobre tractor con remolque

En buenas condiciones del terreno, el tractor con remolque puede desplazarse a una velocidad de 15 km/hora. Tiene un radio de acción de hasta 1,5 km sin producir demoras en el astillado. Aunque el tractor tenga muchos tiempos muertos, es interesante que esté en la chopera debido al alto coste horario de la astilladora. Es habitual que el cargadero de astilla esté en la misma chopera junto a una zona de fácil acceso para el camión por lo que el remolque puede estar parado más del 50% del tiempo de la astilladora.

En la descarga de la astilladora Erjo sobre el remolque se emplea entre un 5,5- 7,5 % del tiempo productivo. Para reducir estos tiempos el operario del remolque debe procurar colocarlo en paralelo a la astilladora antes de que se termine de llenar su propio contenedor, para no hacerle esperar.

El volumen del contenedor de la astilladora Erjo es de 22 estéreos y la capacidad del remolque del tractor acompañante que saca la astilla al cargadero es de 30 estéreos, por lo que no alcanza para llenarse con dos contenedores enteros de la astilladora. Al no vaciarse totalmente el contenedor, el ciclo de llenado siguiente es más rápido y la operación de descarga es más frecuente. Para reducir el tiempo en la descarga, el remolque debe tener capacidad suficiente para que el contenedor se vacíe completamente, en este caso, algo más del doble de la capacidad del mismo, para poder descargarlo completamente dos veces antes de desemboscar las astillas a cargadero.

En todos los casos se debe transportar la astilla cubierta con un toldo (que es obligatorio), para evitar que pueda esparcirse por caminos, carreteras..., y en caso de lluvia, evitar que se moje y que aumente su peso con el riesgo de superar el peso máximo autorizado del camión (figura 17).

En cualquier caso, de acuerdo con González (1987) es conveniente que el mismo contratista que se encargue del astillado sea el responsable del transporte de astillas, lo que reduce los problemas logísticos.



Figuras 16 y 17: Piso móvil (izquierda) y protección con lona (derecha)

5

RECOMENDACIONES DE EJECUCIÓN RENDIMIENTOS, VALORES OBSERVADOS Y REFERENCIAS

5.1

Apeo, desramado y movimiento de fustes

Durante la primera fase del aprovechamiento, el apeo y desramado de los árboles, se encuentran dos posibilidades diferentes; apeo manual o con cosechadora. Cabe tener en cuenta las siguientes consideraciones y recomendaciones.

Apeo, desramado y tronzado mecanizado

- La cosechadora primeramente apea una serie de árboles y, una vez en el suelo, los va desramando y tronizando de uno en uno, dejando las ramas y puntas a un lado de la calle que va abriendo y la madera clasificada al otro. La pega de este sistema es que el cabezal de la procesadora no acordona los restos, por lo que la astilladora vería disminuido su rendimiento, de modo que se hace necesario introducir una máquina más en el sistema para acordonar la biomasa, como, por ejemplo, un tractor con rastrillo.
- Se debe procurar que el aprovechamiento sea lo más ordenado posible, y que las calles que ha ido abriendo la procesadora sean las mismas que luego siga el autocargador al recoger la madera y, por último, la astilladora, para evitar que los restos se mezclen con tierra y piedras.

Apeo manual (con motosierra)

En este sistema, el motoserrista apea y desrama el árbol y posteriormente el fuste lo mueve una cargadora frontal de pinzas ("grapa") para llevarlo a zona de tronzado, donde se tronzan los fustes y se clasifican las trozas.

- La dirección de apeo debe ser siempre la misma, de manera que los fustes queden paralelos para facilitar el trabajo de la pala al recogerlos y llevarlos a cargadero y todas las copas estén en la misma franja para facilitar el posterior acopio.
- La grapa no debe pisar las ramas y puntas, sino ir recogiendo la fila de fustes por la parte limpia del tronco, donde no se ha formado copa, para posteriormente poder acordonar los restos sin haberlos pisado y contaminado con tierra o barro.

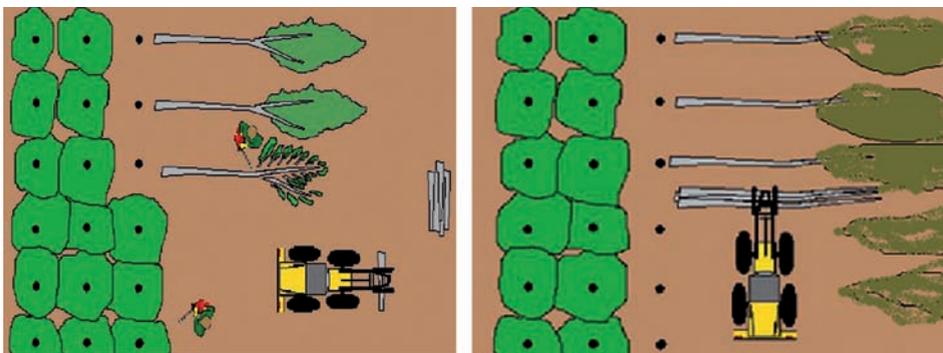


Fig. 18 y 19: Esquema de apeo manual (Dibujo adaptado de E. López Senesplada)

- A la hora de mover los fustes o las trozas, la grapa debe procurar elevarlos unos decímetros para evitar que sean arrastrados por el suelo, contaminando el material con tierra y piedras, especialmente dañinas para el torno de desenrollo. Lo mismo se puede decir de las ramas y copas, en que la contaminación por tierra puede suponer costosos problemas de desgaste y mantenimiento para las cuchillas de la astilladora y, además, una merma en la calidad de la astilla como combustible.

Recomendaciones generales (apeo y elaboración)

Desde el punto de vista del aprovechamiento de biomasa mediante astillado, **es preferible el apeo manual y el acordonamiento con grapa al apeo mecanizado en que no se acordone**. La cosechadora, al desramar un árbol, deja sus ramas y rabeón concentrados en pequeños montones pero sin acordonar, dado que no tiene la posibilidad de acordonarlos eficazmente, mientras que la grapa puede dejar esa biomasa acordonada sin que esto apenas suponga una disminución de rendimiento en su trabajo, comparándolo con el tiempo que tendría que dedicar en cualquier caso a separar la biomasa en un tajo en el que no se fueran a astillar.

- **El rabeón debe quedar entero**, sin desramar ya que cuanto más grande sea, mayor será el rendimiento de la astilladora, dado que se podrá recoger del suelo con mayor facilidad, y también será más fácil la alimentación. No obstante, no deben quedar piezas de más de 4 – 5 metros, debiéndose fragmentar, porque darían problemas en la alimentación de la astilladora.

Por lo tanto, cuando el aprovechamiento está planteado de forma integral, resulta más conveniente desde el punto de vista del rendimiento de astillado, **dejar un solo rabeón a partir de 10-14 cm de diámetro, para su astillado completo**, salvo que éste sea de más de 4 ó 5 metros, caso en que habría que seccionarlo para reducir sus dimensiones y permitir la correcta alimentación.

5.2 Acopio de la biomasa. Elaboración de cordones

En el aprovechamiento de la chopera, la reunión de ramas y raberones se debe llevar a cabo en cualquier caso, por lo tanto la única preparación adicional que se requiere cuando se aprovechan como biomasa es un mayor cuidado a la hora de acordonarlos para ser astillados.

El objetivo de acordonar la biomasa es que la astilladora se alimente de la forma más eficiente posible y con el menor número de desplazamientos. En los estudios realizados se han encontrado diferentes modos de proceder, los cuales se describen a continuación.

Para garantizar el cuidado en estas operaciones, lo ideal es que la empresa que se encargue del aprovechamiento de la madera sea la misma, o por lo menos esté coordinada con la que efectúe el astillado, acordando previamente las labores y la forma de realizarlas que va a acometer cada una de ellas.

- En el **Sistema 1**, al apeo y desramado manual siguió el **acordonamiento de biomasa con pala cargadora frontal**.
- En el **Sistema 2**, se produjo el apeo y desramado con cosechadora **sin acordonamiento de la biomasa**.
- En el **Sistema 3**, el apeo y desramado fue mecanizado con cosechadora y el **acordonado de biomasa con un cargador de brazo telescópico tipo "Manitou" equipado con un rastrillo**. El rastrillo que se utilizó en este sistema tiene la particularidad de tener un hueco entre los dientes, para permitir pasar por los tocones sin engancharse (figura 21).

El **rendimiento** de estas máquinas acopiando ramas y raberones es difícil de estimar, puesto que durante el tiempo de trabajo van haciendo diferentes actividades entremezcladas entre sí. En el caso de la grapa, iba agrupándolos según extraía la madera, y en el caso del rastrillo, se dedicaba a reagrupar los cordones cuando hacía falta según iba avanzando la astilladora, a formar los cordones y en ocasiones a tirar del contenedor de astilla.



Figuras 20 y 21: Aperos utilizados para acordonar los restos. Grapa (izda) y rastrillo (dcha).

- **El trabajo de la grapa en el sistema 1** se registró mediante cronometraje continuo, donde se separa el tiempo de trabajo en operaciones elementales; desplazamiento, movimiento de fustes y trozas, ayuda en el apeo y retestado a los motoserristas y acordonado de biomasa. Un 13,8% del tiempo de trabajo se dedicaba al movimiento de los restos de corta, con un rendimiento en esta operación de 0,17 ha/hora de trabajo.

En caso de que no se astille la biomasa, la grapa tiene que dedicar tiempo igualmente a amontonar las ramas y riberones para posteriormente quemarlos. En ese caso, comparando con otros cronometrajes llevados a cabo por el equipo de la U.P.M., el tiempo que se dedica a amontonar los restos en el sistema tradicional, en que se queman posteriormente, es de un 8-10 % del tiempo de trabajo. Por lo tanto, el hecho de acordonar la biomasa para su astillado supone un trabajo adicional para la grapa que ocupa entre un 4-6 % de su tiempo de trabajo, lo que supone un coste adicional de unos 20 €/ha, que para 85 t/ha repercutiría en 0,23 €/t de astilla en verde. Este coste, como se verá, es muy reducido en comparación con el ahorro de costes de astillado, lo que justifica que la correcta ejecución del acordonado sea un factor clave.

- **El rendimiento de la cargadora telescópica con el rastrillo acoplado del Sistema 3**, acordonando biomasa únicamente es de una hectárea por jornada, aproximadamente 0,12 ha/hora; rendimiento algo menor que el de la "grapa". Sin embargo, con este apero se recoge un mayor porcentaje de la biomasa, y sin mezclarla con tierra, además de complementar el trabajo de la astilladora. Esta máquina puede tirar de un remolque que acompañe a la astilladora y reagrupar los restos para facilitar su alimentación.

En el trabajo de astillado con acordonado previo con rastrillo, la grúa no apura la recogida de las ramas y puntas de la parte baja de la pila, sino que el tractor se dedica a volver a apilarlos con el rastrillo y va rehaciendo los cordones para que el maquinista de la astilladora recoja la biomasa con mayor facilidad e incorpore menos impurezas (arenas, piedras...), lo cual es una importante ventaja para el rendimiento de la astilladora y la calidad del producto.

La idea del rastrillo con un hueco para poder pasar a través de una fila de tocones (figura 21) facilita mucho las labores de acordonado, y previene el problema de romper alguna barra del rastrillo. La grapa no tiene ese problema, puesto que sólo tiene dos travesaños, pero la recogida es más eficaz con el rastrillo, en cuánto al porcentaje de biomasa que recoge al tener una separación menor entre travesaños.

Para un aprovechamiento mecanizado con procesadora, cabe plantearse incorporar el rastrillo al sistema de trabajo para dejar ramas y riberones acordonados y mejorar así el rendimiento de la astilladora. La ventaja frente al acordonado previo que se realiza en el apeo manual, es disponer de esta máquina en el tajo al mismo tiempo que la astilladora, para ayudarla en la recogida de la biomasa. Si se utilizara únicamente para un acordonado previo supondría un coste de 3,57 € a imputar sobre la tonelada de astilla, pero teniendo en cuenta lo que se ahorrara al mejorar el rendimiento de la astilladora, este coste puede compensar. Se debe valorar el hecho de que el coste horario del rastrillo es de 34 €/hora, e incluirlo en el sistema supone aumentar sensiblemente el rendimiento de la astilladora, cuyo coste horario es cuatro veces mayor.

Para evitar contaminar los cordones

- Al mover la biomasa, no debe ser arrastrada por el suelo para no coger tierra ni piedras; introducir una piedra en una astilladora puede producir un "mordisco" en una cuchilla, y si las ramas arrastran demasiada tierra las cuchillas pierden el filo mucho antes y hay que estar cambiándolas con mayor frecuencia.

Para evitar este problema, el apero que se utiliza para acordonar, ya sea la grapa o la horquilla, debe elevarse unos decímetros para evitar el arrastre y mover las ramas y riberones la menor distancia posible.

Para maximizar el rendimiento de la astilladora

- Los cordones deben ser lo más largos posible, y distribuidos de manera que se minimicen los desplazamientos de la astilladora de uno a otro cordón.
- Para que el operario no tenga problemas para depositar la biomasa sobre la mesa de alimentación, las piezas no deben tener una longitud que exceda los 4-5 m, puesto que al tratarse de ramas, estas se "enredan" unas con otras y resulta muy difícil su manejo.

Dimensiones del cordón

- La anchura idónea del cordón de biomasa será igual al alcance máximo de la grúa, que a su vez dependerá de la posición que esta tome respecto al cordón. Para la astilladora Pezzolato, con una grúa de menor alcance que la Erjo y trabajando en paralelo al cordón, su anchura óptima es de entre 4,5 y 5,5 m. Para la astilladora Erjo, con una grúa de mayor alcance, más alta, y trabajando perpendicular al cordón, su anchura puede ser de hasta 9-12 m.
- La grapa permite comprimir la biomasa con la pinza, por lo que la superficie que ocupa el cordón es menor. Se estima que la superficie necesaria para acordonar las ramas y puntas con la grapa es de 19 m² por tonelada, que para una altura de cordón de 2 metros equivale a 38 m³ aparentes, mientras que, con el rastrillo, la superficie necesaria para acordonar la biomasa es algo más del doble, 38,8 m² por tonelada y 77,5 m³ aparentes.

5.3

Astillado de biomasa y extracción de astilla

En la chopera, las ramas y rabeones se encontrarán, preferiblemente, acordonados en la zona de corta. La astilladora se desplazará a lo largo del cordón, con el menor número de desplazamientos posibles recogiendo la biomasa, astillándola y lanzando la astilla a un remolque acoplado a la astilladora o acompañando a esta tirado por otro tractor, o al remolque del camión cuando esto sea posible.

5.3.1. Selección de la tecnología de astillado

La selección de la tecnología de astillado es de la máxima importancia. En los países nórdicos se utilizan frecuentemente **astilladoras de disco** sobre tractor agrícola potente, porque son más baratas, pero su alimentación es demasiado pequeña para trabajar con rabeones o ramas largas, luego se trata de máquinas monofuncionales. Las ramillas pueden pasar entre los discos sin ser astilladas por lo que habrá un material peor que en el caso de la de tambor que lo astilla todo. **Las astilladoras de tambor producen una astilla más fina y homogénea, de buena calidad y además son menos sensibles a las impurezas.**

Las trituradoras sólo son justificables ante la certeza de la existencia de abundantes impurezas de piedra o arena abrasiva. El hecho es que son máquinas más pesadas y requieren más potencia y tienen mayor consumo que las astilladoras, originando además un producto con menor valor añadido.



Fig. 22 y 23. Producto elaborado por una astilladora (izquierda) y por la trituradora (derecha)

Lo más recomendable es utilizar astilladoras de tambor cuando la biomasa no esté muy mezclada con tierra y piedras. De no ser así, la opción más prudente es la trituradora o en casos extremos, como el aprovechamiento de tocones, la pretrituradora.

Otra elección importante es la potencia de la máquina. El rendimiento está íntimamente relacionado con la potencia de la astilladora (Spinelli, 2001)

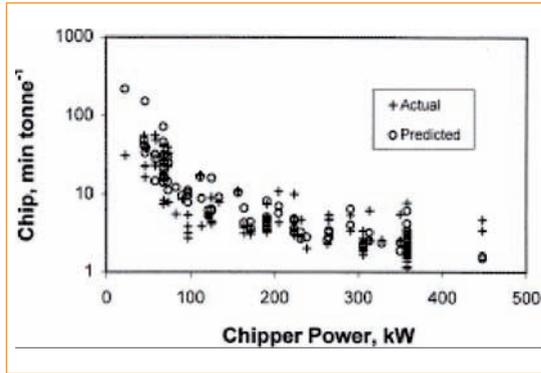


Figura 24. Tiempo de astillado (min/t) vs potencia de la astilladora (kW) (Spinelli, 2001)

En la figura 24 se observa como el rendimiento de la máquina aumenta con la potencia de la astilladora de manera notable hasta 250 kW (340 CV), y a partir de este valor el tiempo consumido por tonelada de astilla desciende ya mucho más despacio.

Durante los estudios de campo, se ha llevado a cabo un cronometraje discontinuo multimomento de las astilladoras, a partir de los cuales se compara su rendimiento. (Tabla V).

■ En los Sistemas 1 y 2, la astilladora es la misma, sin embargo el rendimiento es mayor en el Sistema 1, porque allí las condiciones de trabajo eran mejores; las ramas y puntas habían sido acordonados, y era una chopera por la que se podía circular sin dificultad, mientras que la chopera de Lubia estaba atravesada por surcos y, en ella, la biomasa no se acordó.

	PRODUCTIVIDAD (T/HORA)	
	TIEMPO PRODUCTIVO	TIEMPO DE TRABAJO
SISTEMA 1 (SANTA CRISTINA) Erjo oswad 588 cv	16,19	7,93
SISTEMA 2 (LUBIA) Erjo oswad 588 cv	11,21	7,18
SISTEMA 3 (GRANADA) Pezzolato 480/660 215 cv	5,69	3,44

Tabla V. Productividad de las astilladoras móviles en las choperas de estudio

■ En el Sistema 3, con una astilladora de menor potencia, la productividad puede llegar a ser tres veces menor frente a la Erjo. Esto refuerza la idea generalizada de que hay una relación estrecha entre la potencia de la astilladora y su productividad.

En cuanto a la potencia de la astilladora, conviene emplear astilladoras de cierta potencia desde el punto de vista del rendimiento, si bien se debe valorar el consumo de combustible y lubricantes y su efecto sobre el coste unitario final al que se va a tener la tonelada de astilla.

5.3.2. Características técnicas

- En el caso de biomasa demasiado húmeda y/o con hojas verdes, una pequeña **dimensión de la cañonera** y/o escasa potencia del ciclón podría originar numerosos atascos en la cañonera.
- **En cuanto al equipo tractor o tren de rodaje de la astilladora**, si la astilladora está montada sobre camión es muy importante que el acceso del cargadero sea el adecuado. Una astilladora sobre autocargador o con tren de rodaje de oruga no tendría ese problema, pero su necesidad de transporte independiente origina problemas logísticos especialmente si se usa en montes pequeños repartidos por un área extensa.
- **Las pinzas de la grúa de la astilladora deben tener mayor capacidad** que las que utilizan habitualmente para manejar la madera. Para ramas cortadas o puntas cortas son recomendables las pinzas tipo "pulpo" o las pinzas anchas a las que se quitan los travesaños y se refuerzan las puntas, mientras que para puntas largas predominantes –diámetros de aprovechamiento de biomasa elevados – pueden usarse pinzas similares a las de madera, para propiciar que la carga esté alineada para su mejor alimentación en el astillado.

El brazo de la grúa debe ser lo más largo posible

- **La mesa de alimentación debe ser lo más ancha y larga posible** para poder depositar los rabeones y ramas sobre ella con facilidad, pero no demasiado, porque en ese caso la máquina tiene que estar más alejada del cordón por lo que se limita el alcance de la grúa.

Para el astillado móvil (sobre los cordones, en la propia chopera), cuando en la mayoría de los casos los cordones no son demasiado altos, cuanto más baja sea la mesa de alimentación más cómodo le resulta al operario depositar la biomasa sobre ella, puesto que el movimiento de la grúa es más sencillo.

5.3.3. Recomendaciones de astillado

- No tiene sentido intentar recuperar el 100% del material acordonado, incluyendo fragmentos desprendidos, ramas muy pequeñas, etc. Es mejor dejar algo de biomasa en el terreno que perder productividad global y aumentar las impurezas en el material, siempre que lo que se deje no estorbe para el laboreo u otras tareas.

En las choperas se recoge un elevado porcentaje de la biomasa producida: en las experiencias estudiadas, el porcentaje de biomasa que queda en el suelo es:

- 12 % en el sistema 1, en el que se utilizó la grapa para acordonar.
- En el sistema 2, donde no se acordonaron las ramas y puntas, hubo zonas donde quedó más del 35%, llegando a alcanzarse las 56,9 t/ha de biomasa sin extraer.
- 7.5 % en el Sistema 3, en el que se utilizó la cargadora telescópica con el rastrillo para acordonar.

Por tanto, y como se ha señalado, **el acordonado de ramas y puntas con grapa es más rápido que con rastrillo, pero este último deja menos biomasa a su paso.**

- La biomasa de la parte más baja de la pila es la que se astilla más despacio, porque en cada viaje la grúa carga menos y debe extremar la precaución para no arrastrar piedras. Por eso, la posibilidad de **ir reagrupando los restos del cordón con el rastrillo resulta interesante**. En cualquier caso, no es recomendable apurar por encima de cierto límite, parte de la biomasa pueda quedar en el terreno.
- **Las ramas o raberones demasiado largos deben ser cortados para facilitar su manejo.** En ocasiones, se aprovechan árboles enteros si son de pequeñas dimensiones o su madera no es de calidad (secos o con pudriciones) que también deben ser cortados por la mitad para facilitar la alimentación.
- Cuando la astilladora descargue sobre un remolque tirado por otro tractor, éste debe estar atento para desplazarse según la astilladora avance a lo largo del cordón sin producir demoras en el trabajo.
- **Durante la alimentación, especialmente si se aprecia o sospecha la presencia de piedras, es importante sacudir el fajo de ramas con la pinza para propiciar que las piedras se desprendan.**
- En el cordón de biomasa, las ramas están orientadas en el sentido del cordón, por lo que si la astilladora está paralela al mismo y tiene alimentación lateral, tiene que estar continuamente girando con la grúa los restos para depositarlos alineados sobre la bandeja de alimentación. **Para evitar perder mucho tiempo en manipular la biomasa, el operario de la astilladora Erjo se colocaba perpendicularmente al cordón;** aunque tuviese que emplear más tiempo en desplazarse con el tractor y maniobrar, resultaba ventajoso al facilitar enormemente la alimentación. **Para este fin, podría ser de interés una astilladora de alimentación frontal.**

6

ASPECTOS DE DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS Y LOGÍSTICA DEL SUMINISTRO

En las circunstancias estudiadas se requieren 3 jornadas de una cuadrilla formada por dos motosecristas y una grapa o 2,5 jornadas de cosechadora por cada jornada de la astilladora integrada en autocargador Erjo y, para el caso de la astilladora remolcada por tractor agrícola Pezzolato, este tiempo se reduciría a la tercera parte (es decir, se requeriría 1 jornada de cuadrilla o 0,83 de cosechadora, dado el menor rendimiento de la astilladora menos potente).

Una astilladora Erjo trabajando 8 horas al día puede llenar 3,5 camiones de piso móvil de 90 m³ al día. En el caso de la astilladora Pezzolato, esta capacidad se reduce a 1,5 camiones por día.

7

PRÁCTICAS RECOMENDABLES POR RAZONES SELVÍCOLAS Y MEDIOAMBIENTALES

En España el 80 % de las repoblaciones con choperas, se encuentran sobre suelos francos, franco arenosos o franco arcillosos (Fernández y Hernanz, 2003), en terrenos neutros o ligeramente ácidos (Balgañón, 2000). Por lo tanto, se encuentran en suelos poco sensibles (y en algunos casos medianamente sensibles) a la extracción de nutrientes.

Las zonas más adecuadas para la especie son las vegas, próximas a los cursos de agua por ser el chopo una especie que necesita tener un contacto directo con el agua. El óptimo altitudinal de plantación se encuentra entre los 500 y 1.000 m, en terrenos de nula o muy escasa pendiente.

muchas de las choperas castellano leonesas se encuentran sobre **suelos aluviales**. Estos son suelos asentados sobre aluviones recientes, como son las vegas de los ríos. Los suelos aluviales proceden de materiales diversos, sus propiedades físicas y químicas depende de las rocas que forman el cauce del río, del régimen de sedimentación, del clima... Por tanto, son suelos cambiantes en los diversos tramos. Suelen tener alta potencialidad, tanto por su situación como por su riqueza en elementos nutritivos.

Estos suelos tienen frecuentemente un pH superior a 7, con carbonatos libres, con un contenido medio en materia orgánica, valores medios o elevados de fósforo asimilable, riqueza de potasio media o baja y algo pobres en calcio.

Para evitar los efectos desfavorables debidos a la extracción de nutrientes, siguiendo a Cacot *et al.* (2004), las siguientes medidas son las más significativas para reducir los efectos negativos de la extracción de restos:

- Dejar secar los restos varios meses antes de su recogida. Ello puede reducir las pérdidas de nutrientes entre un 30 y un 45%.
- Recoger los restos o árboles de especies frondosas de hoja caediza en invierno.
- No recolectar adicionalmente los arbustos y vegetación acompañante.
- Limitar, en función de las características del suelo, el número de recolecciones de restos a lo largo de la vida de la masa.

En cuanto a la pérdida de nutrientes que sufre el suelo, al analizar la composición química de la biomasa del *Populus x euroamerica* I-214, en sus diferentes fracciones (fuste, ramas, hojas y vegetación subterránea), la madera, con más del 80 % del peso total, es la fracción con concentraciones más bajas en todos los elementos, a excepción del C. En la fracción foliar, por el contrario, se registran los niveles de concentración más elevados de N, S, P, K, Ca, Mg, Mn y Zn, mientras que ramas y corteza presentan contenidos intermedios (Cruz Calleja, 2005).

Las ramas representan un 22% en peso, y el 35, 30, 29 y 22 % de P,N ,K y C respectivamente. Tras la corta se extrae casi el 65 % de los nutrientes, los restos (ramas) representan un 26% de los nutrientes del árbol que dejan de ser incorporados al suelo en caso de que se aprovechen energéticamente.

	% peso y nutrientes											
	Peso	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn
Hojas	2,23	2,21	18,97	27,42	13,33	19,40	17,16	17,43	0,43	7,22	50,85	2,00
Ramas	19,20	19,37	27,50	19,35	29,33	26,42	21,68	28,44	7,22	10,31	13,56	18,00
Fuste	65,63	66,42	46,32	40,32	41,33	46,49	56,32	52,29	75,04	30,93	23,73	40,00
Subterránea	12,95	11,99	7,21	12,90	16,00	7,69	4,84	1,83	17,32	51,55	11,86	40,00

Tabla VI. Porcentaje de contenidos medios de bioelementos en los diferentes componentes de la biomasa aérea, en una plantación adulta a la edad de 14 años (Calleja, 2005)

A lo largo del turno, los chopos van incorporando nutrientes al suelo mediante el desfronde. Como árboles caducifolios, concentran los máximos valores de desfronde en otoño (septiembre-noviembre). El máximo aporte de desfronde se produce a los 11 años, reduciéndose casi en un 25 % a la edad de 15 años.

De acuerdo con Cacot *et al* (2004), el calcio es el elemento, debido a los balances minerales, más susceptible de resultar deficitario después de una extracción intensa de material vegetal, seguido por el fósforo y el nitrógeno.

Comparando la evolución de las concentraciones de los bioelementos en hoja verde (septiembre) y en hoja de desfronde (noviembre), se observa la existencia de dos grupos de elementos claramente diferenciables. El primer grupo, N, P, K y S, con una retranslocación al árbol por parte de los nutrientes antes de la abscisión de la hoja; y, otro grupo como Ca, Mg, Fe, Zn y Na, en que esta aparente redistribución de elementos no se lleva a cabo, habiéndose encontrado concentraciones superiores en las hojas de desfronde que en las fisiológicamente activas (Cruz Calleja, 2005). Consecuentemente, en otoño los contenidos foliares de aquellos elementos que sufren procesos de retranslocación son mínimos (Pedersen & Bille-Hansen, 1999; Berthelot *et al.*, 2000), y superiores en aquellos elementos que sufren un proceso de acumulación a lo largo del periodo vegetativo.

De todo lo dicho respecto al déficit de nutrientes que pueda sufrir el suelo tras el aprovechamiento de la biomasa podemos extraer las siguientes conclusiones; el turno habitual de corta de las choperas 14-16 años es suficientemente largo para que la extracción de la biomasa no sea crítica en cuanto a la pérdida de fertilidad del suelo, puesto que está parcialmente equilibrada por el desfronde a lo largo de la vida de la chopera. Además, los terrenos donde se suelen plantar no son especialmente sensibles ante este hecho y cabe la posibilidad de abonarlos en caso de que fuera necesario.

En cuanto al destocoado, que se hace necesario para evitar el rebrote de los chopos, se puede realizar de tres formas: mediante tratamientos químicos, extrayendo los tocones con retroexcavadora o destocador de cilindros, o con un destocador de barrena helicoidal, tipo sin fin que tritura el tocón en el terreno sin extraerlo del suelo. Este último sería el procedimiento más caro.

No es objeto de este manual el estudio del aprovechamiento de la biomasa subterránea, pero cabe hacer los siguientes comentarios:

- Sería preciso valorar la pérdida de nutrientes adicional que sufriría el suelo con la extracción de tocones.
- El tocón, al estar entremezclado con la tierra y las piedras, da un producto de una calidad mucho menor que la biomasa aérea.
- Para poder utilizarlo con fines energéticos se ha de triturar primero con una pretrituradora de martillos, y posteriormente cribarlo en una criba rotatoria o *trommel* y astillarlo.
- En muchos casos, se extraen los tocones con retroexcavadora, se voltean para evitar su rebrote y se vuelven a depositar donde estaban, y en otros se amontonan todos juntos y se entierran en un extremo de la chopera. Puesto que la extracción y el acopio de tocones se lleva a cabo de todas formas, habría que valorar el coste de oportunidad que esto supone para su aprovechamiento como biomasa.

Otras prácticas medioambientales

Además, es importante, como en cualquier aprovechamiento forestal, tomar medidas preventivas del riesgo de incendios y evitar por todos los medios el dejar basuras o residuos en la chopera.

- El recipiente, bidón o bolsa que se ha llevado lleno de combustible, aceite o comida, debe volver vacío y depositarse en el lugar adecuado, fuera de la chopera...
- Para evitar el taponamiento de cunetas, limpiar los restos que puedan quedar abandonados y depositarlos en el talud de terraplén, pasar la rueda del tractor para eliminar taponamientos con tierra.
- El ejecutor del aprovechamiento es el responsable de reparar los posibles daños que se hayan podido ocasionar durante los trabajos en los caminos o parcelas colindantes al aprovechamiento.
- Tampoco se deben producir rodadas profundas, por lo que hay que limitar el uso en tiempo de lluvias fuertes.
- Para evitar daños en los cursos de agua, hay que planificar los cruces con arroyos, habilitando caños, puentes, etc.
- En general, se debe limitar el acceso a los cursos de agua al mínimo posible, cruzándolos siempre en ángulo recto. No se permitirá arrastrar a lo largo de los lechos.

8

PRÁCTICAS RECOMENDABLES POR RAZONES DE SEGURIDAD Y SALUD

Al tratarse de aprovechamientos completamente mecanizados se aportarán “buenas prácticas” generales para maquinistas forestales, seguidas de prácticas específicas para los tipos de máquina empleados (astilladora, tractor y camión).

8.1

Prácticas genéricas para los tractoristas forestales

General:

Los maquinistas deben haber recibido **formación específica** relacionada con el manejo del tipo de máquina que estén empleando.

Se debe operar usando las técnicas y dentro de los límites establecidos por el fabricante.

Las máquinas nuevas deben contar con la **homologación o certificación CE**. Las máquinas más antiguas deberán haber sido **adaptadas al R.D. 1215/1997** (señalización luminosa, señalización acústica de marcha atrás, etc.)

En el vehículo deben **ir sólo las personas para las que esté diseñado**, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. No se transportarán personas en el remolque o sobre la pala.

Las máquinas deben contar con **dos extintores**, que se deben mantener en perfecto estado, realizando las revisiones periódicas que indique el fabricante. **Los tubos de escape de todas las máquinas deben contar con silenciador y matachispas.**

Se debe **utilizar cinturón de seguridad y no dejar objetos sueltos en la cabina.**

**Características
de las
máquinas**

Los puestos de control de los vehículos (incluidas las grúas para la carga de camión o alimentación de astilladora) deben estar protegidos por cristales de seguridad contra impacto. **Las cabinas de las máquinas forestales automóbiles deben cumplir los estándares de seguridad contra vuelcos y contra impactos (ROPS y FOPS)**

Las partes peligrosas de las máquinas (por ejemplo, una toma de fuerza) deben estar protegidas y señalizadas.

Mantenimiento:

Se deben **realizar todas las operaciones de mantenimiento de acuerdo con las instrucciones del fabricante** de la máquina. El mantenimiento se debe realizar **con el vehículo parado, calzado y en terreno llano**, accediendo al mismo por las partes indicadas para ello.

Se deben emplear **garrafas homologadas para el repostaje** de combustible. Por supuesto, **nunca se fumará durante esta operación, que se deberá producir en una zona apartada del lugar de trabajo, sin especiales riesgos de incendio y sin luz solar directa**. Se repostará con el motor y las luces apagadas y se alejarán los depósitos de combustible de la máquina un mínimo de 3 metros antes de arrancar. Si se producen derrames, hay que limpiarlos antes de arrancar la máquina.

No se debe elevar manualmente los tanques de fuel para repostar. Si se requiere alimentación por gravedad para dicha operación, los bidones deben situarse de forma segura sobre pilas de madera bien formadas, bordes de talud, etc.

Se debe cortar inmediatamente cualquier vertido de aceite. No usar las manos para comprobar pérdidas de aceite, sino un trozo de papel o cartón. El aceite hidráulico a presión puede penetrar a través de la piel y producir gangrena.

Si es posible, el operario debe asegurarse de que el aceite hidráulico en los sistemas que deben ser reparados no se encuentre bajo presión. Si no es posible, para descargar el aceite de presión, se debe aflojar muy cuidadosamente las juntas liberando gradualmente la presión.

Planificación

Una persona responsable, además del maquinista, debe conocer el plan de trabajo diario, y se debe establecer un **procedimiento de actuación en caso de emergencia**. Es útil la comunicación con portátiles, incluyendo la definición de una señal de emergencia.

Es obligatorio inspeccionar previamente el área de trabajo para identificar los lugares de riesgo y planear el trabajo para que las ramas y puntas sirvan de apoyo en terrenos difíciles.

Cuando las operaciones sean potencialmente peligrosas para los usuarios de cualquier vía pública (carretera, camino o sendero), éstas no deben comenzar hasta su cierre. **En todos los accesos al área, se debe disponer señales de peligro, prohibiendo el paso de personal no autorizado.**

Operativa

En las operaciones en que sea necesario, hay que asegurarse de que el freno de estacionamiento o de carga esté conectado (y no olvidar soltarlo antes de poner la máquina en marcha). Si hay pendiente, se parará la máquina en posición recta encarada con la línea de máxima pendiente.

Hay que emplear cadenas y/o semiorugas según las condiciones del terreno o las condiciones meteorológicas.

Se mantendrá una **distancia de seguridad hacia cualquier persona que se encuentre en un radio de dos veces el alcance de la grúa**, debiendo detenerse las operaciones si alguien penetra en dicho radio de seguridad. En cualquier caso, nunca deben quedar suspendidas cargas por encima de operarios u otras personas.

Se mantendrá una **distancia de seguridad mínima de 15 metros** entre cualquier parte de la máquina (por ejemplo, la pinza de la grúa) y cualquier torre de acero de **líneas eléctricas** (9 metros si se trata de postes de madera)

La máquina debe contar con iluminación adecuada para trabajar en condiciones de luz escasa. Es conveniente contar además con una linterna de mano potente.

Hay que retirar los residuos inflamables que puedan engancharse en los bajos de la máquina u otras áreas similares.

Operativa

Durante la marcha, se debe **evitar la pendiente lateral excesiva.**

Si hay inestabilidad por la pendiente, sea lateral o longitudinal, es conveniente extender la grúa hacia el lado más alto para ganar estabilidad.

Hay que asegurarse que la grúa está en la posición de transporte antes de poner la máquina en marcha.

Hay que evitar conducir, salvo que sea necesario para limpiar el camino, sobre árboles apeados o trozas.

Se deben **mantener las ventanillas y puertas cerradas durante la conducción.**

El personal autorizado que desee aproximarse a la máquina debería contactar primero con el tractorista. Si no es posible, debe hacerse la aproximación por la zona de mejor visión.

Para el transporte de la máquina en una góndola, hay que asegurarse que la posición de la grúa u otros órganos de trabajo es la más adecuada, y de que respeta las dimensiones máximas de las vías a atravesar en la ruta de transporte – altura, anchura y peso máximo autorizados.

EPIS:

El maquinista debe llevar los siguientes **EPIS (equipos de protección individual): protectores para los oídos excepto si el ruido en la cabina es inferior a los 85 dB, guantes resistentes al aceite hidráulico para manipular madera o materiales, botas de seguridad, elementos de limpieza y botiquín de primeros auxilios.** Se llevará, además, casco, cuando se tenga que bajar del vehículo y haya posibilidad de caída de ramas u otros riesgos de golpes en la cabeza.

En el mantenimiento, se debe trabajar con ropas ajustadas, para evitar atrapamientos

Hay que **subir y bajar a los vehículos por las zonas habilitadas a tal fin**, cuyos asideros y estribos deben mantenerse limpios y en buenas condiciones. Tanto la subida como la bajada al vehículo se realizarán **de cara al mismo y sin saltar.**

**Situaciones
de riesgo:**

En caso de atasco de la máquina, se debe parar el motor, cortar la corriente **corriente, antes de intervenir para desatascar los elementos afectados.**

Si la máquina patina conduciendo hacia abajo, hay que soltar los frenos, aumentar gradualmente la velocidad y continuar en línea recta hacia delante hasta que se recupere la tracción. Nunca se debe desembragar.

Si la máquina vuelca, se debe permanecer atado (con el cinturón) en el interior de la cabina, no intentando **nunca saltar desde la misma.**

Para situaciones inesperadas (climáticas, topográficas o mecánicas) es conveniente conocer las técnicas de conducción de emergencia, sólo para mover la máquina hasta una posición segura.

8.2

Medidas específicas para la astilladora y para su alimentación mecanizada

- El adecuado **mantenimiento** es fundamental para evitar situaciones problemáticas durante el trabajo:

Hay que chequear diariamente dos veces, antes de comenzar los trabajos y en la mitad de cada turno de trabajo, el estado de las cuchillas. En ambos casos, hay que regular y ajustar la posición de las cuchillas de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Cuando se cambien las cuchillas, siempre hay que limpiar de serrín y trozos de biomasa el útil de astillado.

Después de cada cambio de cuchillas, todos los trabajadores deben permanecer fuera de un amplio radio de seguridad hasta que el maquinista haya llevado el útil de astillado a su velocidad de régimen normal, comprobando que los elementos de trabajo están debidamente asegurados.

- Respecto a la **ejecución del trabajo** se debe tener en cuenta lo siguiente:

Si se desconecta la astilladora de la cabeza tractora para que funcione de forma semi-fija, hay que asegurarse de que las **patas hidráulicas** están **desplegadas adecuadamente** y de que las **ruedas** están **bloqueadas antes de comenzar el astillado.**

Hay que **comprobar que el material con que se alimenta la astilladora está libre de piedras.** Si se sospechase que el material incorpora piedras u otras impurezas, se debe sacudir con la pinza de la grúa cada pinzada para facilitar su limpieza.

Además de tomar precauciones para que las piedras o metales no lleguen al mecanismo de alimentación, habrá que **desenganchar las ramas u otros restos que queden atascados** en dicho mecanismo. Cuando la grúa de alimentación no sea suficiente, se empleará un bichero (una pértiga terminada con un gancho).

Siempre que sea posible, **evitar el soplado de astillas contra el viento.**

Debe respetarse una **zona de seguridad de 18 metros tanto delante como detrás de la cañonera.** Cuando la cañonera sea plegable y esté desplegada, hay que bloquear el pasante de seguridad adecuadamente antes de comenzar el trabajo.

Antes de comenzar a astillar y de que la cañonera comience a enviar material al área de descarga, hay que comprobar que está despejada de cualquier operario u otras personas. No se debe permitir que acceda ningún operario en la zona de seguridad cuando el motor de astillado esté en marcha o mientras el órgano de astillado no se haya detenido completamente.

El mecanismo de parada de emergencia debe mantenerse en buen estado, señalado y accesible al maquinista con facilidad en condiciones normales.

- Los **riesgos para la salud** se enumeran a continuación:

El ruido es uno de los principales riesgos para la salud en este tipo de trabajos, por lo que **todos los trabajadores deben llevar un protección auditiva adecuada**.

Los operarios de tierra, en su caso, o el propio gruista o palista cuando bajen al suelo, pueden correr riesgo de aplastamiento por desplazamiento de la carga. **Aunque nunca debe haber nadie debajo de una carga en movimiento, los operarios que puedan tener que estar en sus proximidades deben llevar cascos y botas reforzadas.**

La protección ocular es obligatoria salvo que se trabaje dentro de cabinas perfectamente aisladas.

También el **polvo** puede suponer riesgos para la salud, por lo que lo recomendable es que **las cabinas** en que trabaje el gruista o palista estén **dotadas de filtros de aire o mecanismos de sobrepresión. Los operarios sujetos a la inhalación de polvo deben protegerse mediante mascarillas.**

Uno de los riesgos **posteriores al astillado** se debe a las **reacciones anaerobias que se producen en el interior de las pilas de astillas, que dan lugar al aumento de temperatura y desprendimiento de gases, en ocasiones inflamables.** Aunque la principal norma se refiere a evitar el almacenamiento de astilla en lugares cerrados o deficientemente ventilados, otra norma para prevenir la autocombustión es **evitar un excesivo tamaño de los montones** (se recomienda hacer montones que no superen los 40 ó 50 metros cúbicos de astilla si se van a dejar durante cierto tiempo en el cargadero).

- La **forma de trabajo cuando junto con la astilladora se empleen grúas o palas cargadores para alimentar la astilladora** se detallan a continuación:

Cuando se utilice una pala cargadora o grúa especial tipo "pulpo" para alimentar la astilladora, sólo el operario de la misma podrá encontrarse en las proximidades de la astilladora cuando se encuentre en movimiento.

En este caso (o si se usa este tipo de máquina para cargar un camión), conviene **establecer un código de señales audibles (pitidos de la máquina) o visuales (ráfagas de luz)** para comunicar al operario de la pala cargadora con el resto de trabajadores. Por ejemplo, una señal puede significar "Pare", dos señales "Mueva la máquina o el camión hacia delante", tres señales "Mueva la máquina o el camión hacia atrás" y una serie de señales cortas y repetidas, "Peligro".

No se debe permitir a otros miembros del equipo aproximarse a la pala cargadora o grúa hasta no haber recibido una señal clara y previamente convenida de conformidad por parte del palista o gruista.

Los operarios auxiliares deben notificar al palista o gruista de una forma clara, preestablecida y rápida la detección de una situación de riesgo, de modo que el trabajo pueda detenerse con rapidez.

8.3

Medidas específicas para la carga de camiones

- Los aspectos a considerar durante la carga de los camiones y si se utilizan palas cargadoras son las que se detallan a continuación:

La carga debe producirse sobre terreno estable, con una distancia adecuada al punto de recolección de la carga y que **no obligue a suspender la misma por encima de la cabina del camión**. Durante la operación, el freno de estacionamiento debe estar activado, y el freno de giro debe haberse soltado.

Durante la carga de un camión de astillas (o de árboles completos, o de cualquier otra carga), es importante **mantener la comunicación entre el conductor del camión y el palista o gruista**, a poder ser mediante señales preestablecidas como las que se han indicado (pitidos o señales luminosas).

En la pala o grúa empleada para la carga habrá un solo tractorista, que ejecutará antes del trabajo las labores de mantenimiento indicadas por el fabricante y realizará los movimientos de diagnóstico de la grúa o pala.

El operario del vehículo cargador **deberá tener buena visibilidad del cargadero y del camión** que debe ser cargado. **El operario debe detener la máquina si aprecia la entrada inesperada y no planificada de alguna persona** en el radio de seguridad de la máquina.

Se debe evitar cuidadosamente cargar tierra o piedras con los árboles o astillas, sacudiendo la carga si fuese necesario.

La capacidad de la pala o grúa debe emplearse al máximo (siempre sin superar las cargas máximas definidas por el fabricante).

Nunca se debe golpear con la carga el camión o ninguna de sus partes. No se debe dejar caer la carga con brusquedad.

No debe haber nunca cargas suspendidas sobre trabajadores que no estén protegidos por una cabina de seguridad homologada.

Se debe **evitar dañar los árboles remanentes** cercanos al cargadero.

Se debe **evitar la proximidad de líneas eléctricas o de otras máquinas**, de acuerdo con las normas generales. También tienen particular importancia en las operaciones de carga la señalización en las vías de acceso para evitar el acercamiento de personal no autorizado o desconocedor de los riesgos.

Si el operario baja de la grúa o pala, debe detener el motor y dejarla a nivel de suelo.

Si el trabajo a desempeñar conlleva riesgos de aplastamiento por cargas suspendidas o atascadas, debe llevar los correspondientes EPIs.

9

RECOMENDACIONES RELATIVAS A LA CALIDAD DE LA BIOMASA. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN EL CASO ESTUDIADO.

La calidad de la biomasa es un factor básico para su precio, que en los países más avanzados conduce a que se pague por su contenido energético (por MWh) y a que se impongan restricciones y penalizaciones – incluso rechazo – si el contenido en arena o en hojas, según los casos, supera ciertos límites. En algunos casos, la condición se manifiesta en una humedad máxima, a partir de la cual se imponen penalizaciones en el precio, dada la relación entre humedad de la biomasa y capacidad calorífica por unidad de peso (figura 24).

Desde luego, la granulometría es otra condición básica, prefiriéndose en general el astillado al triturado o, desde luego, al pretriturado, y valorándose la homogeneidad de la astilla y su tamaño reducido, como se pone de manifiesto en las clasificaciones de calidad escandinavas (en que el factor granulometría da lugar a 4 clases,

siendo la mejor aquella en que más del 95% en peso de las partículas es menor de 30 mm, y la peor aquella en que el 95% de las partículas son inferiores en tamaño sólo a 100 mm).

Estas exigencias son máximas en consumidores pequeños, especialmente para aplicaciones térmicas, que no tienen capacidad de almacenamiento copioso y procesado posterior del combustible, y cuyas calderas no son tan adecuadas como las más grandes en lo tocante a los problemas que producen las cenizas o, en particular, los álcalis. Frente a ellos, ciertos grandes consumidores tienen que procesar los materiales recibidos del monte (por ejemplo, para su inyección mixta o alternativa con carbón pulverizado en centrales de cocombustión) y tienen mayor capacidad de limpieza y separación, o incluso secado, de los combustibles, por lo que pueden aceptar astillas o triturados de peor calidad.

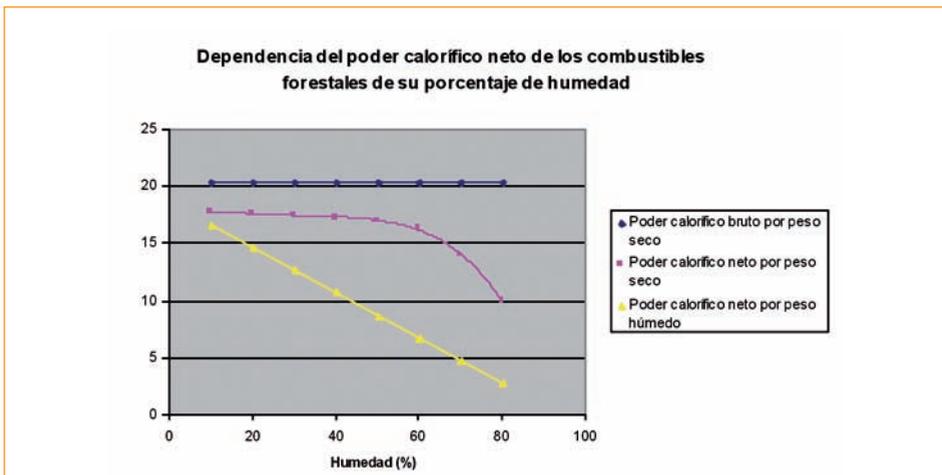


Fig 25: Dependencia del poder calorífico (MJ/kg) respecto de la humedad en base húmeda (Hakkila, 2004)

Las principales normas orientadas a obtener una biomasa de mayor calidad son las siguientes:

- No arrastrar o incorporar tierra ni piedras con la biomasa. En el caso de las choperas, la contaminación se puede producir mayoritariamente en el acordonado. Otra posible fuente sería, en el caso de descargarse astillas en el suelo, la carga de astillas con pala. Las principales medidas en este caso, serían el acordonado de ramas y puntas con horquilla o grapa para elevarlas unos centímetros del suelo y evitar así que arrastren mucha tierra., y procurar la descarga de astilla directa en camión – en caso de no poderse, buscar un suelo asfaltado próximo a la chopera donde descargar la astilla y no apurar en la carga de astilla cuando se recoja de un suelo sin asfaltar -.
- Dejar secar la biomasa y/o las astillas para que el combustible llegue lo más seco posible a su destino, por el mayor poder calorífico. Ya se ha comentado la conveniencia de dejar secar ramas y puntas por razones ambientales, pero en muchos casos se procura un secado adicional de la astilla extraída en el cargadero, siempre que esto no suponga riesgos fitosanitarios o de incendios por encima de lo tolerable. En el caso de las frondosas, dejar secar los árboles aumenta su dureza, lo que conlleva mayor desgaste de cuchillas y mayor potencia necesaria – y consumo de combustible -. También se produce más polvo – mayor proporción de finos, lo que no resulta positivo para la calidad del propio combustible ni tampoco desde el punto de vista ergonómico y ambiental. Hay que buscar un equilibrio, en función del equipo disponible, entre el mayor precio de la biomasa por su mayor poder calorífico por estéreo, y los problemas logísticos y operativos de trabajar con biomasa seca. Entre otros, para el uso adecuado de una astilladora, reduciendo los costes fijos, conviene recurrir a un programa de optimización del transporte en función de la posición de las pilas, el momento de su apeo y desembosque, la época del año y las características de la demanda.
- En función del destino, el contenido en álcalis y en cenizas en general puede ser perjudicial y dar lugar a rechazos o penalizaciones. En principio, a mayor calidad exigida para la biomasa, más conveniente será que no incluya hojas, para lo que es también conveniente que se seque en monte. Esto también sería positivo desde el punto de vista de la pérdida de nutrientes, aunque es verdad que, antes de la caída de las hojas, los árboles recuperan parte de los nutrientes traslocándolos desde las hojas al tronco, ramas y raíces.

Análisis de astillas.

En las experiencias estudiadas se recogieron muestras de astillas que se analizaron con el fin de obtener el contenido en humedad y caracterización energética, de este tipo de astillas.

La humedad del material inmediatamente después de ser astillado dependerá; de la proporción de hojas, proporción de material fino y material grueso que se astille, de la época el año, del tiempo transcurrido entre el apeo y el astillado, y de las precipitaciones y humedad de los días previos al astillado.

Es importante recordar que la madera de chopo contiene un alto contenido en humedad (superior al de la mayoría de frondosas) y que una vez astillado tarda más tiempo en perder la humedad que otras especies.

En el Sistema 1, la humedad de la astilla proveniente únicamente de puntas de entre 12 y 7 cm es del 47,2 %, mientras que la humedad de una muestra proveniente de ramilla fina y hojas es del 40,7 %. Cuánto más fino sea el material, más rápidamente perderá humedad, pero no se debe olvidar que las hojas, aunque pierdan la humedad fácilmente, empeoran la calidad de la astilla. En este caso, la chopera fue apeada un mes antes del astillado.

En el Sistema 2, la humedad de la astilla es del 41,9 %, astillada justo a continuación (una semana) de ser apeada.

Estas muestras de astillas también fueron enviadas al Laboratorio Regional de Combustibles (LA-RECOM) perteneciente a la Junta de Castilla y León donde se llevaron a cabo los análisis de composición química, humedad y caracterización energética, cuyos resultados aparecen en la Tabla VIII.

En el Sistema 3, se tomaron muestras de astilla en choperas en las que había transcurrido dos meses entre el astillado y el apeo en dos choperas de similares características pero en distintas épocas (mayo y octubre), la humedad de las astillas en Mayo fue del 11,3 % y en Octubre, después de un periodo de lluvias intensas, esta humedad ascendió al 66,6 %.

	(ZAMORA)						GRANADA		
	MADERA Y HOJAS			MADERA			MADERA		
	s/seco	s/s. a.	s/bruto	s/seco	s/s. a.	s/bruto	s/seco	s/s. a.	s/bruto
Humedad secado al aire (%)			45,09			38,97			32,86
Humedad higroscópica (%)		4,6	2,53		4,96	3,03		5,6	3,76
Humedad total (%)		4,6	47,61		4,96	41,99		5,6	36,62
Volátiles (%)	84,51	80,63	44,28	80,37	76,38	46,63	71,82	67,8	45,52
Cenizas (815°C) (%)	0,8	0,76	0,42	3,17	3,02	1,84	12,12	11,44	7,68
Carbono fijo (%) (calculado)	14,7	14,02	7,7	16,46	15,65	9,55	16,06	15,16	10,18
Carbono (%)	49,74	47,45	26,06	49,36	46,91	28,63	44,51	42,02	28,21
Hidrógeno (%)	6	6,23	8,43	5,96	6,21	8,12	5,35	5,67	7,46
Nitrógeno (%)	0,08	0,08	0,04	0,36	0,34	0,21	1,01	0,95	0,64
Cloro (%)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	0,05	0,03
Azufre (%)	0,02	0,02	0,01	0,04	0,04	0,02	0,09	0,08	0,06
Oxígeno (%) (calculado)	33,37	45,47	65,05	41,13	43,5	61,19	36,87	39,78	55,92
Poder calorífico superior (PCS) _i (Kcal /Kg)	4677	4462	2451	4669	4437	2708	4205	3970	2665
Poder calorífico inferior (PCI) _i (Kcal /Kg)	4368	4142	2027	4361	4117	2298	3926	3675	2287
Poder calorífico inferior (PCI) _p (Kcal /Kg)	4350	4123	2000	4343	4098	2273	3910	3658	2263

Tabla VIII: Resultados del análisis de las astillas. Los poderes caloríficos se refieren a base seca. (PCI)_p denota el poder calorífico inferior a presión constante.

Densidad energética			CLASIFICACIÓN FINLANDESA	Astillas Sistema 1			Clase
Clase	MWh/m ³	Calidad		Madera y hojas	Madera	Promedio	
E1	0,9	Mejor	Densidad energética MWh/m ³	1,01	1,01	1,01	E1
E2	0,8	↓ Peor					
E3	0,7						
E4	0,6						
Humedad			Humedad (%)	48	42	45	K2
Clase	% Humedad en base humedad	Calidad					
K1	40	Mejor					
K2	50	↓ Peor					
K3	60						
K4	65						
Tamaño			P1	30	45	60	Peor
Clase	Tamaño de la astilla 95% < mm	Calidad					
P1	30	Mejor					
P2	45	↓ Peor					
P3	60						
P4	100						

Tablas IX y X: Clasificación finlandesa (Marcos, 2001) y encuadre de la astilla del Sistema 1 en esta clasificación

Las muestras de astillas formadas por madera y hojas presentan un mayor porcentaje de cenizas que las de madera sola, aunque el contenido en cloro es muy bajo se debería estudiar los riesgos que puedan provocar una reducción de la calidad de las astillas como combustible.

Se puede realizar una clasificación energética de astilla como combustible según la clasificación finlandesa de biocombustibles sólidos de origen forestal (Marcos, 2001), que se muestra en las Tablas IX y X. De acuerdo con la clasificación finlandesa, se obtienen los siguientes resultados:

- La astilla de chopo es de la mejor calidad respecto a la densidad energética y presenta un valor medio en base seca de 1,01 MWh/m³.
- Según el contenido de humedad pertenece a la segunda clase de la escala con un valor medio del 45%. En general, las muestras analizadas han presentado mayor humedad que las de otras especies estudiadas (pinos silvestre y resinero y rebollo). Al contrario de lo que muchos piensan, el poder calorífico del chopo es equiparable al de los pinos o los robles, pero lo que hace que sea menos eficiente a la hora de producir calor es su contenido en humedad, habitualmente superior.

En líneas generales se puede clasificar la astilla de chopo como de óptima calidad. Esta información es útil para el posible consumidor de este producto y puede aportar un valor añadido al aprovechamiento de la astilla de chopo.

10

ESTIMACIÓN DE COSTES DEL SUMINISTRO DE BIOMASA A PARTIR DE RESTOS DE CHOPERAS

En la Tabla XI se presenta un resumen de los costes de aprovechamiento de la madera y la astilla en los tres aprovechamientos estudiados, del que se pueden extraer algunas conclusiones.

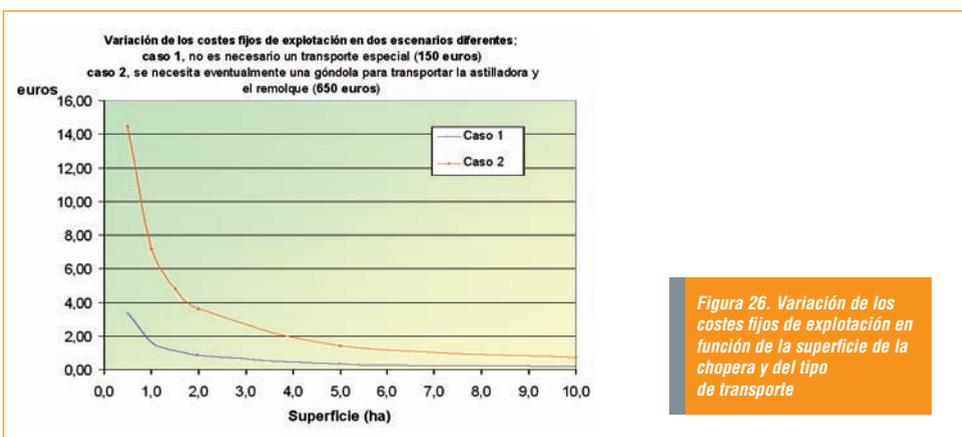
Costes Sta. Cristina (Sistema 1)					
MÁQUINA	Coste horario (€/h)	Rendimiento (t/h)	Coste unitario (€/t)	Coste total (€/t madera)	Coste total (€/t astilla)
Máquinas	44,00	11,82	3,72	8,07	
Motoserristas	55,44*	12,11	4,35 (madera) 0,23 (astilla)		
Grapa	135,33	7,93	21,46		21,69
Tractor con remolque	34,85				
*Se imputa el 5% del coste horario de la grapa a la astilla puesto que es el porcentaje de tiempo de trabajo que corresponde al acordonado de restos para la astilladora					
Costes Lubia (Sistema 2)					
MÁQUINA	Coste horario (€/h)	Rendimiento (t/h)	Coste unitario (€/t)	Coste total (€/t madera)	Coste total (€/t astilla)
Procesadora Ponsse	98,86	20,49	5,30	10,40	
Autocargador Ponsse	55,39	10,86	5,10		
Astilladora Erjo	135,33	7,18	23,70		23,70
Tractor con Remolque	34,45				
Costes Granada (Sistema 3)					
MÁQUINA	Coste horario (€/h)	Rendimiento (t/h)	Coste unitario (€/t)	Coste total (€/t madera)	Coste total (€/t astilla)
Procesadora	70,85	9,26	11,59	14,25	
Tractor con Remolque	36,45	13,68	2,66		
Astilladora Pezzolato	74,68	3,44	31,42		34,63
Rastrillo	33,40				
Tractor con Remolque	34,45	10,73	3,21		

Tabla XI. Costes de aprovechamiento en las experiencias estudiadas

- En el coste total de la madera y la astilla resultante no están incluidos el beneficio industrial ni los costes indirectos y de estructura. Tampoco están incluidos los costes fijos de explotación por tener que transportar las máquinas de un tajo a otro, ni los costes de transporte de la astilla desde la chopera al centro de consumo, ni el precio de la madera o de la biomasa "en pie".
- Los costes de elaboración de la madera son ligeramente menores en el apeo manual que en el apeo con procesadora (8,07 €/t en Sta. Cristina (Sistema 1) frente a 10,40 €/t en Lubia (Sistema 2)). No obstante, para valorar esta circunstancia habrá que tener en cuenta la creciente dificultad para encontrar personal y los mayores costes indirectos que esta dificultad supone.
- El coste de elaboración de astilla también es menor en Sta. Cristina que en Lubia, tratándose de la misma máquina, los mismos operarios e incluso el mismo sistema de trabajo (21.69 €/t en Sta. Cristina frente a 23.70 €/t en Lubia). Esto se debe a que el rendimiento de la astilladora en el segundo caso disminuye al no estar acordonados los restos.
- La elaboración de la astilla con la astilladora Pezzolato (Sistema 3), que toma la fuerza de un tractor de 215 CV, es en torno a un 50 % más cara que con la astilladora Erjo de 588 CV. El coste horario de la Pezzolato es casi la mitad que el de la Erjo, pero el rendimiento de la segunda es casi 2,5 veces el rendimiento de la primera. Además, el coste de la astilla en el caso del sistema de aprovechamiento de Granada se ve agravado por la necesidad de incluir una máquina adicional, el rastrillo para acordonar los restos.

En cuanto a los costes fijos de explotación que supone transportar las máquinas de un tajo a otro, se deben tener en cuenta las siguientes cuestiones.

- Una astilladora móvil acoplada a un camión, puede circular por cualquier tipo de vía. Mientras que una astilladora acoplada a un tractor no puede circular por carreteras principales y en muchas ocasiones tiene que ser transportada por una góndola, lo que supone un aumento en el coste final de la elaboración de la astilla.



- El coste que se deriva del transporte de las máquinas será inversamente proporcional al tamaño de explotación de las choperas.
- El precio de alquiler de una góndola se encuentra entre los 2 y 2,5 €/km ida + vuelta, pero esta no es necesaria cuando la distancia de un tajo a otro no es muy grande y se puede hacer por caminos secundarios.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizan dos hipótesis de cálculo: En el primer caso (caso 1), el radio de trabajo de la astilladora es pequeño y para ir de un tajo a otro no necesita góndola, y en el segundo (caso 2), la góndola es necesaria en todo caso.

- En el caso 1, sólo se imputa como coste de explotación 150 €, que representan unas tres horas de trabajo del operario y el gasto en combustible. Esta hipótesis es representativa del estudio de Granada; una astilladora de poca potencia que actúa en un radio de acción pequeño.
- En el caso 2, se supone un coste medio de explotación de 650 €, porque se tiene que transportar las máquinas con una góndola.

Superficie(ha)	Biomasa (t)	Coste unitario (€/t astilla)	
		Caso 1	Caso 2
0,5	45	3,33	14,44
1,0	90	1,67	7,22
1,5	135	1,11	4,81
2,0	180	0,83	3,61
5,0	450	0,33	1,44
10,0	900	0,17	0,72

Tabla XII. Costes fijos de explotación

Estas dos hipótesis vienen representadas por la Tabla XI y la Figura 27. En esta última se aprecia que los costes de explotación pueden ser imposibles de asumir para choperas pequeñas, hasta llegar a 14 €/t para una choperas de media hectárea, lo que podría suponer hasta un 40 % de los costes totales de elaboración. Recuérdese que la superficie media de las choperas en Castilla y León es de 1,07 ha.

En cuanto al transporte de la astilla al centro de consumo, este se suele hacer normalmente con camiones trailer de tipo móvil de 90 m³ de capacidad ya que las choperas generalmente no presentan problemas de accesibilidad ni de transitabilidad, al estar en terrenos sin pendiente. El único obstáculo es que en periodos muy lluviosos los camiones pueden tener problemas de adherencia.

El coste de transporte será mas bajo cuanto menores sean las distancias de transporte.

DISTANCIA	COSTE TRANSPORTE (€/T DE ASTILLA)
25	7,11
50	8,37
100	10,89
200	15,93
300	20,96

Tabla XIII: Costes de transporte

En la **Tabla XII** se representa cómo aumenta el coste de transporte sobre la tonelada de astilla en función de la distancia. Para este cálculo se supone una capacidad de la caja de 17,5 t (puesto que la densidad de la astilla de chopo en verde es de alrededor de 0,2 t/estéreo), que el tiempo que se tarda en cargar la caja con una pala cargadora y luego vaciarse suma aproximadamente una hora, la velocidad media del camión es de 80 km/hora, el coste horario de un piso móvil es de 70,67 €/h y además hay que tener en cuenta el coste que supone la pala cargadora, unos 120 €/día.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede tener una idea bastante aproximada del coste de elaboración y transporte de una tonelada de astilla puesta en el centro de consumo. Por ejemplo, para una astilladora Erjo que requiriese movimiento en góndola, trabajando en buenas condiciones en una chopera de 1,5 ha, y transportando la astilla una distancia de 100 km., el precio de la tonelada de astilla sería el siguiente:

- 21,69 + 4,81 (costes de elaboración + costes fijos de explotación).....	26,50€/t
- Gastos indirectos y de estructura (15 %)	3,98 €/t
- Beneficio industrial (12%)	3,18 €/t
- Costes de transporte	10,89 €/t
TOTAL	44,55 €/t

11

CONCLUSIONES

- En Castilla y León, en 2002 había casi 62.000 ha dedicadas al aprovechamiento intensivo de choperas, de las que se extraían anualmente más de 265.000 m³ de madera, si bien según algunas fuentes, las cortas en 2005 superaron los 440.000 metros cúbicos.
- Se calcula que la biomasa a extraer proveniente de las ramas y puntas de choperas, incluyendo el llamado puntal, esto es, hasta 14 cm de diámetro en punta delgada está entre 70 y 100 t/ha. Potencialmente, de acuerdo con las estimaciones de corta más conservadoras, supondría entre 44.300 y 64.000 t/año de astilla completamente verde sólo en la Comunidad de Castilla y León.

Respecto a la planificación previa (selección del lugar, localización del cargadero, etc.):

- En cuanto a la elección de la tecnología a utilizar, se recomienda **astilladoras de tambor frente al las de disco** puesto que producen una astilla más fina y homogénea.
- **Las trituradoras** sólo son justificables ante la certeza de la existencia de abundantes impurezas de piedra o arena abrasiva.
- El **rendimiento de la astilladora está relacionado con su potencia**, por lo que si la demanda de producción es elevada, se recomiendan los equipos de gran potencia, con motor propio. No obstante, se debe valorar el consumo de combustible y el coste unitario final de la tonelada de astilla. Si no se está seguro de disponer de tajo abundante durante todo el año, y para superficies de choperas pequeñas (menos de 2 ha), puede ser preferible usar astilladoras de menor potencia.
- El **cargadero de astilla** se colocará dentro de la misma chopera cuando ésta sea accesible para los camiones que vayan a cargarla y el terreno sea estable y no susceptible de encharcarse en la época de trabajo. En caso de no ser así, se buscará un emplazamiento próximo a la chopera sobre un suelo asfaltado o con solera de hormigón.
- **En cuanto a la superficie necesaria para el cargadero, se necesitan 5 m² de superficie por tonelada de astilla**, suponiendo que el montón de astilla alcanza una altura máxima de 2,5-3 metros de altura. Por ejemplo, suponiendo una chopera de 2,5 ha, con una densidad de restos de 80 t/ha, si se extraen 180 toneladas de astilla (con una eficiencia en la extracción de restos del 90%), se necesitaría una superficie mínima de 900 m², en caso de que los camiones no fuesen a cargar las astillas hasta después de terminados los trabajos.

- En cuanto a **dónde se deposita la astilla según sale por la cañonera**, se plantean varias opciones: que la astilladora tenga su propia tolva acoplada, que descargue sobre un remolque auxiliar o que descargue directamente sobre el contenedor del piso móvil que va a transportar la astilla a su destino final.
- **Cuando sea posible astillar sobre el contenedor de piso móvil, se elegirá esta opción**, puesto que al no tener que tirar la astilla al suelo en cargadero esta tendrá menos impurezas y además se evita introducir la pala cargadora en el sistema para la carga de los camiones.
- En caso de no ser posible la opción anterior, el sistema a elegir será el que produzca menos tiempos muertos de la astilladora, que es la máquina con mayor coste horario del sistema).

En cuanto al apeo, desramado y movimiento de fustes

- Desde el punto de vista del aprovechamiento de biomasa, **la ventaja del apeo manual seguido del acordonamiento con grapa frente al apeo con cosechadora es el hecho de que el acordonado de la biomasa se integra con las operaciones de aprovechamiento de madera**, de forma que se favorece que las ramas lleven una menor cantidad de piedras y tierra.
- Cuando el apeo y desramado sea **con cosechadora**, ésta no tiene la posibilidad de acordonar ramas y baberones, pero **debe dejarlos a un lado de la calle para no pasar por encima de ellos**.
- Durante el apeo manual, **el motoserrista debe tirar los árboles en la misma dirección**, para que cuando la grapa recoja los fustes no pase por encima de las ramas y puntas que se pretende aprovechar.
- Es preferible de **dejar el raberón completo a partir de 10-14 cm de diámetro, para su astillado completo**.

Sobre la elaboración de los cordones de astillado:

- El objetivo de acordonar la biomasa es que la astilladora se alimente de la forma más eficiente posible y con el menor número de desplazamientos.
- **Para garantizar el cuidado en estas operaciones, lo ideal es que la empresa que se encargue del aprovechamiento de la madera sea la misma, o por lo menos esté coordinada con la que efectúe el astillado**.
- **La biomasa no deben ser arrastrada** por el suelo para evitar incorporar tierra y piedras, para ello, el apero que se utiliza para acordonar, ya sea la grapa (acoplada a una pala cargadora frontal, con dos travesaños) o la horquilla o rastrillo (acoplada a un brazo telescópico y con mayor número de travesaños, entre 4-8) debe elevarse unos centímetros para evitar el arrastre y moverlos la menor distancia posible.

- En las experiencias estudiadas, el rendimiento del rastrillo acoplado a un cargador telescópico tipo Manitou es algo menor que el de la grapa, pero la recogida es más eficaz con el primero en cuanto al porcentaje de biomasa que recoge, al tener una separación menor entre travesaños.
- La idea del rastrillo con un hueco para poder pasar a través de una fila de tocones facilita mucho las labores de acordonado, y previene el problema de romper alguna barra del rastrillo.
- **Para un aprovechamiento mecanizado con procesadora, cabe plantearse incorporar un cargador telescópico equipado con un rastrillo al sistema de trabajo** para dejar la biomasa debidamente acordonada y mejorar así el rendimiento de la astilladora. La ventaja frente al acordonado previo que se realiza en el apeo manual, es que se dispone de esta máquina en el tajo al mismo tiempo que la astilladora, para ayudarla en la recogida de restos.
- **Los cordones deben ser lo más largos que sea posible y sin superar nunca la altura de la cabina del gruista de la astilladora**, y distribuidos de manera que se minimicen los desplazamientos de la astilladora de uno a otro cordón.
- **En cuanto a la superficie que ocupan los cordones:** La grapa permite comprimir las ramas y puntas con la pinza por lo que la superficie que ocupa el cordón de restos es menor. Se estima que la superficie necesaria para acordonar la biomasa con la grapa es de 19 m² por tonelada de restos, que para una altura media de cordón de 2 metros equivale a 38 m³ aparentes, mientras que, con el rastrillo, la superficie necesaria para acordonar la biomasa es algo más del doble, 38,8 m² por tonelada de restos y 77,5 m³ aparentes.

En cuanto al astillado de restos:

- En los estudios llevados a cabo con la **astilladora de tambor Pezzolato** acoplada a un tractor de **215 c.v.** del Sistema 3, el rendimiento medio fue de **5,69 t/hora**. Se registró un rendimiento medio de **16,19 t/hora** sobre tiempo productivo para la **astilladora de tambor con motor propio Erjo de 588 CV**, en el Sistema 1 y de **11,21 t/hora** en el Sistema 2. Esta diferencia de rendimiento para la misma máquina se puede explicar por el hecho de que en el primer lugar la biomasa estaba acordonada y la chopera no presentaba condiciones que dificultasen el trabajo de la astilladora como en el segundo lugar, donde las ramas y copas estaban agrupados en pequeños montones, pero no acordonados, y la chopera estaba atravesada por numerosos surcos.
- **En cuanto al equipo tractor o tren de rodaje de la astilladora.** Si el acceso lo permite, se puede montar la astilladora sobre camión. Sino, se opta por una astilladora sobre autocargador o con tren de rodaje de oruga que no tendrá problemas para acceder ni para circular por la chopera pero su necesidad de transporte independiente origina problemas logísticos especialmente si se usa en montes pequeños repartidos por un área extensa.

- **Las pinzas de la grúa de la astilladora** deben tener mayor capacidad que las que utilizan habitualmente para manejar la madera.
- El **brazo de la grúa** de la astilladora debe ser lo más largo posible.
- **La mesa de alimentación** debe ser lo más ancha y larga posible para poder depositar la biomasa sobre ella con facilidad, pero no demasiado porque en ese caso la máquina tiene que estar más alejada del cordón por lo que se limita el alcance de la grúa.
- **Si la astilladora se coloca perpendicular al cordón, aumenta su rendimiento** al facilitar su alimentación, aunque luego tenga que perder tiempo en maniobrar hasta la siguiente posición.
- **No tiene sentido intentar recuperar el 100% del material acordonado**, es mejor dejar algo de biomasa en el terreno que perder productividad global y aumentar las impurezas en el material.
- Las ramas y puntas de la parte más baja de la pila son los que se astillan más despacio, porque en cada viaje la grúa carga menos y debe extremar la precaución para no arrastrar piedras. Por eso, la posibilidad de ir **reagrupando los restos de la parte más baja del cordón con el rastrillo** resulta interesante y, en cualquier caso, no es recomendable apurar por encima de cierto límite, aunque parte de la biomasa pueda quedar en el terreno.
- Cuando la astilladora descargue sobre un remolque tirado por otro tractor, este debe estar atento para desplazarse según la astilladora avance a lo largo del cordón sin producir demoras en el trabajo.
- **Durante la alimentación, especialmente si se aprecia o sospecha la presencia de piedras, es importante sacudir el fajo de ramas con la pinza para propiciar que las piedras se desprendan.**

Respecto a los aspectos medioambientales:

- En las choperas, el turno habitual de corta, entre 14-16 años es suficientemente largo para que la extracción de la biomasa no sea crítica en cuanto a la pérdida de fertilidad del suelo puesto que esta parcialmente equilibrada por el desfronde a lo largo de la vida de la choperas. Además, los terrenos donde se suelen plantar no son especialmente sensibles ante este hecho y la fertilización en estos terrenos, caso de ser necesaria, es técnicamente fácil.
- Se considera conveniente dejar secar la biomasa en la choperas antes de su extracción.

Respecto a la seguridad y salud:

- Los responsables de las empresas y los operarios deben conocer las normas de seguridad y salud concernientes a los puestos y equipos de trabajo para garantizar la seguridad y salud y respetarlas. Además deben utilizar siempre y correctamente los E.P.I.s preceptivos.

Respecto a la calidad de la astilla:

- La calidad de la biomasa (astillas) está relacionada con su granulometría relativamente fina y homogénea, con su humedad lo más reducida posible, con el mínimo porcentaje de impurezas no orgánicas – piedras, arena, piezas metálicas u otras – y con el menor contenido posible de cenizas, y particularmente de álcalis que dan lugar a problemas de sinterización en las calderas. En ese sentido, los consumidores más exigentes – pequeñas calderas de aplicaciones térmicas -. requerirán astillas con la mayor proporción de madera y menor de corteza, ramillas y hojas, que sea posible. Estas circunstancias pueden condicionar fuertemente la forma de ejecución y la logística de los aprovechamientos.
- **La astilla de chopo** es de la mejor calidad respecto a la densidad energética según la clasificación finlandesa y presenta **un contenido energético medio de 1,01 MWh/m³ en base seca**, con una densidad reducida (en verde, una media de 0,2 t por metro cúbico aparente).
- Para obtener una mejor calidad de astilla, es preferible que ramas y rabezones se astillen sin hojas, ya que estas aumentan el contenido de cloro y azufre de la astilla, además del contenido en cenizas. Por lo tanto, es preferible dejar secar la biomasa lo suficiente para que caiga la hoja, de manera que se extraigan menos nutrientes del terreno o, si esto fuera complejo, limpiar la astilla de restos de hojas mediante procedimientos como el soplado.
- La astilla de chopo, en los casos estudiados, ha tenido un contenido en humedad superior a otras especies analizadas (un 45% sobre base húmeda), lo que aconsejaría mayores tiempos de secado u otros procedimientos que faciliten la pérdida de humedad del material a astillar y/o de la propia astilla, para mejorar sus condiciones como combustible.

En cuanto a los costes del aprovechamiento:

- En las experiencias estudiadas, **el coste de elaboración de la astilla varía desde los 21,69 €/t para la astilladora Erjo, a los 34,63 €/t para la Pezzolato de menor potencia**. A estos costes falta añadirles los costes fijos de explotación, los costes generales de estructura, el beneficio industrial y el coste del transporte.
- Cuanto menor sea la distancia de transporte, lógicamente menor será el coste que se le tenga que imputar a la tonelada de astilla en este concepto. Para una distancia de 25 km, el coste de transporte es de 7,11 €/t, para 200 km, este se elevaría a 15,93 €/t, lo que supondría un 75 % sobre el coste de elaboración. Para distancias demasiado largas, el coste del transporte puede suponer un porcentaje demasiado elevado del coste de manera que haga económicamente inviable el suministro.
- **Los costes finales estimados para una distancia de transporte de 100 km, para una astilladora potente que requiriera de una góndola para su transporte, incluyendo un 12% de beneficio industrial y un 15% de costes indirectos y de estructura, pero sin pagar a la propiedad de la chopera por la biomasa, se estima en 44,55 € por tonelada verde.**

12

BIBLIOGRAFÍA

ALAKANGAS, E., 2005:

Properties of wood fuels used in Finland.

BIOSOUTH Project. Project Report PRO02-2030-05. Disponible en Internet en: www.bio-south.com/pdf/BIOSOUTH_Wood_fuel_properties_Oct2005_rev2.pdf -

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 (inédita). E.T.S.I. Montes, U.P. Madrid.

BALBOA, M., J.G. ÁLVAREZ, R. RODRÍGUEZ-SOALLEIRO y A. MERINO, 2003:

Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria.

Parte II: Cuantificación e implicaciones ambientales. Rev CIS-Madera, N°10. Pág. 27-37.

BALBOA, M. et al, 2005:

El aprovechamiento de la biomasa forestal y su impacto sobre la conservación de los suelos.

Presentación en el Seminario "Aprovechamiento de Biomasa Forestal con fines energéticos" (E.T.S.I. Montes, Madrid, diciembre de 2005)

BALGAÑÓN M. 2000.

Sistemas selvícolas.

Apuntes de selvicultura de la E.T.S.I. de Montes. Departamento de Silvopascicultura.

BERTHELOT, A. et al, 2000.

Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of hybrid poplars in north-west France.

Forest Ecology and Management 128 (3): 167-179.

CACOT, E. et al, 2004:

Impact du prélèvement des rémanents en forêt.

Information Forêt AFOCEL. N°1 – 2004. Fiche N° 686. 6 pág.

CACOT, E. et al, 2006:

La récolte raisonnée des rémanents en forêt.

Bioresources ADEME (disponible en www.ademe.fr). 36 pág.

CALLEJA SÁNCHEZ et al, 2007.

Alternativas de Futuro para la plantación de choperas en la provincia de Palencia.

Informe técnico. ITAGRA para la Diputación de Palencia. 105 p.

COMISION NACIONAL DEL CHOPO, MAPA 2007.

Documento interno proporcionado por Alonso, N.

CRUZ CALLEJA, A., 2005:

Dinámica de nutrientes en parcelas experimentales de Populus x euroamericana (Dode) Guinier "I-214).

Tesis doctoral. E.T.S.I. de Agrónomos. Disponible en Internet en: <http://oa.upm.es>

CUCHET, E., P. ROUX y R. SPINELLI, 2004:

Performance of a logging residue bundler in the temperate forests of France.

Rev. Biomass and Bioenergy 27 (2004) 31-39.

FERNÁNDEZ MANSO, A. y HERNANZ ARROYO, G., 2003

Populus (sp) Manual de gestión forestal sostenible.

Consejería de Medio Ambiente, Junta de Castilla y León.

FERNÁNDEZ MOLLOWNY, A.; 1997.

Los chopos en la Cuenca del río Duero. Populicultura e inventario de las plantaciones administradas por la Confederación Hidrográfica del Duero.

Servicio del Medio Natural. Confederación Hidrográfica del Duero.

Ministerio de Medio Ambiente.

FERNÁNDEZ MOLLOWNY A ; 1998.

Guía para determinar el precio de la madera de chopo en pie. Estimación de existencias y análisis económico sobre la rentabilidad de las choperas.

Servicio del Medio Natural. Confederación Hidrográfica del Duero.

Ministerio de Medio Ambiente.

GONZÁLEZ, V., 1987:

"Estudio del modelo finlandés de Aprovechamientos del Montes con Fines Energéticos"

Trabajo de Fin de Carrera de la EUIT Forestal, Madrid (Inédito).

HAKKILA, P., 1998:

Possibility of forest residue as an energy source.

Puuenergia 3/1998. Pág. 8-9. In Finnish.

HAKKILA, P., 2003 (VTT Processes):

Developing technology for large-scale production of forest chips.

Wood Energy Technology Programme 1999-2003. Technology Programme Report 5/2003. Interim Report. TEKES, 54 pág.

HAKKILA, P. y M. ARNIAALA, 2004:

Young stands as a source of energy. Wood Energy Technology Programme.

Newsletter on results 3/2004. TEKES.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 2005.

Castilla y León crece con el bosque.

Folleto divulgativo. Serie divulgativa de la Consejería de Medio Ambiente.

LÓPEZ SENESPLADA, E.,

Modelos de Tiempos y Rendimientos de dos sistemas de aprovechamiento para las cortas de chopo en Castilla y León.

Proyecto Fin de Carrera. E.T.S.I. de Montes (2003). Inédito.

MARCOS MARTÍN, F. 2001.

Biocombustibles sólidos de origen forestal.

AENOR

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DEL MEDIO RURAL Y MARINO, 2008:

Manual de Estadística Forestal 2005. Cortas de Frondosas por Provincias.

Disponible en formato Excel en:

http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/montes_politica_forestal/estadisticas_forestal/pdf/14.xls

MONTERO G. et al 2005,

"Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles"

Monografías INIA, nº 13. 270 pp.

MONTOYA OLIVER, J.M. 1988.

"Chopos y choperas"

Mudi-Prensa.

PADRÓ, A. y ORENSANZ, J. V., 1987

El chopo y su cultivo.

MAPA, Serie Técnica, nº 13. 446 p.

PROFOR, 2006.

Monte: señal de vida en Castilla y León.

Serie divulgativa de la Consejería de Medio Ambiente.

PEDERSEN, L. B. y BILLE-HANSEN, J., 1999

A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce in Denmark.

Forest Ecology and Management 114;55-70

SPINELLI, R. y HARTSOUGH, B., 2001

Indagini sulla cippatura in Italia (A survey of Italian chipping operations). Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazionedel legno.

Vol XLI. CNR

SPINELLI, R., NATI, C. y MAGAGNOTTI, N. 2005.

Harvesting and transport of root biomass from fast-growing poplar plantations.

rev. Silva Fennica 39(4): pp. 539–548.

SYDVED, 2005:

Comunicaciones personales de los técnicos de la filial lignoenergética de Störa-Enso en el área de Gotemburgo.

TOLOSANA, E., AMBROSIO, Y. y VIGNOTE, S., 2002:

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

Rev. Sistemas y Recursos Forestales, Vol 11(1). INIA. Madrid.

TOLOSANA, E., AMBROSIO, Y., LAINA, R. y MARTÍNEZ FERRARI, R., 2006 - 2007:

Informes preliminares sobre las experiencias de aprovechamiento de biomasa forestal

Realizadas a iniciativa de la Junta de Castilla y León y CESEFOR en León y Soria (inéditos).

☒ ☒ ☒ ☒ E		Tiempo min.		Tiempo %		Productividad (Tn/hora)		
Productivo (Directo)	Despl. tractor	86	6,92	53,46	91,14	Tiempo Productivo	7,88	Tiempo de Presencia
	Despl. Grúa a por carga	219	17,63					
	Alimentación	218	17,55					
	Coloc. Carga	58	4,67					
	Descarga	83	6,68					
	Calentamiento inicial		0,00					
	Mantenimiento		0,00					
	Repostado	32	2,58					
	Averías	127	10,23					
	Planificación		0,00					
	Cambio cuchilla	273	21,98					
	Esperas	8	0,64					
	Labores complementarias	28	2,25					
Despl. lugar trabajo	0	0,00						
Indirecto	Ninguna		0,00					
	Interrupciones		0,00					
	Espera	110	8,86					
	Teléfono Móvil		0,00					
Tiempo no Operativo								
TOTAL		1242	100	100	100			
Productividad	620,481 estéreos							
Tiempo total	145,80 t							
Promedio de Astillado	20,70 h							
	60,98%							

SISTEMA 2 (BENAVENTE)
TABLAS IUFRO DE LAS ASTILLADORAS DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS

L/A	Tiempo min.		Tiempo %		Productividad (Tn/hora)			
	Despl. tractor				Tiempo Productivo	Tiempo de Trabajo	Tiempo de Presencia	
Tiempo de Trabajo	Productivo (Directo)	107	14,56	56,05				
	Despl. Grúa a por carga	40	5,44					
	Alimentación	97	13,20					
	Coloc. Carga	120	16,33					
	Descarga	48	6,53	31,45				87,48
	Calentamiento inicial	15	2,04					
	Mantenimiento		0,00					
	Repostado	42	5,71					
	Averías	117	15,92					
	Planificación	3	0,41					
	Cambio cuchilla	46	6,26					
	Esperas		0,00					
	Labores complementarias	8	1,09					
	Despl. lugar trabajo		0,00					
Indirecto						7,19	6,29	
Tiempo no Operativo	Ninguna	1	0,14					
	Interrupciones	70	9,52					
	Espera	7	0,95	12,52				
	Teléfono Móvil	14	1,90					
TOTAL		735	100	100	100			
Productividad	391 estéreos							
Tiempo total	77 t	12,25						

SISTEMA 3 (LUBIA)
TABLAS IUFRO DE LAS ASTILLADORAS DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS

La Fundación CESEFOR ha promovido y coordinado las experiencias que han dado lugar a este Manual. Tanto los responsables de su Área Forestal como el equipo redactor del presente documento están muy interesados en su actualización y puesta al día, para lo que solicitan que cualquier persona o empresa que desee aportar cualquier información que pueda ser útil en sucesivas ediciones, o incluso ofrecer experiencias reales de campo para realizar nuevas pruebas que amplíen el estudio, se pongan en contacto con los responsables de este Manual a través del correo electrónico biomasa.soria@ceseфор.es



Nuestro compromiso con el Medio Ambiente y el cultivo del chopo, se materializa: somos la primera empresa que realiza con un proceso optimizado el aprovechamiento eficiente y sistemático de los residuos de corta de las choperas, para ser utilizado como Biomasa lista para su consumo en centrales de producción de energía.



LA MADERA FIJA CO2



El 75% se fija en productos de madera de larga vida: contrachapado de chopo



El 25% se recupera para la producción de energía, evitando su liberación sin aprovechamiento, y el consumo de combustibles fósiles

Sede central

Grupo Garnica Plywood, S.L.
Parque de San Miguel 10, Bajo
26007 Logroño (La Rioja)
Tel.: + 34 941 51 23 53 - Fax: + 34 941 51 23 59
Más información: www.garnicaplywood.com

No malgastemos las fuentes de riqueza naturales. Recicla.

Actividades:

- Explotación forestal
- Reciclaje de madera
- Fabricación de madera para el embalaje, palet y construcción



Maderas Calero Tejera

Carrerilla del Jau s/n
18320 Santa Fe (Granada)

Tel: **958 442824**

Fax: **958 513115**

Más información: www.maderascalerotejera.com



Pol. Ind. Las Casas c/C
Parcela 4, 42005 SORIA
(ESPAÑA)
T: (+34) 975 212 453
F: (+34) 975 239 677
SKYPE: cesefor

cesefor@ceseфор.com
www.ceseфор.com

www.ceseфор.com