



ANEXO V

LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE. CARACTERIZACION LOCALIZACION Y COSTES ASOCIADOS A SU APROVECHAMIENTO.

PARTE I CULTIVOS ENERGETICOS.

PARTE II BIOMASA FORESTAL RESIDUAL.



PARTE I CULTIVOS ENERGETICOS.



- Descripción de los cultivos energéticos, terminología y conceptos.
- Analítica y ensayos de combustión de biomasa procedente de cultivos.



Índice

- 1. INTRODUCCIÓN.**
- 2. ELECCIÓN DE ESPECIE Y UBICACIÓN DEL CULTIVO.**
- 3. ESTABLECIMIENTO E IMPLANTACIÓN.**
 - A. DISEÑO DE LA PLANTACIÓN.**
 - B. MARCO DE PLANTACIÓN.**
- 4. MATERIAL VEGETAL.**
- 5. PREPARACIÓN DEL TERRENO.**
- 6. PLANTACIÓN.**
- 7. CUIDADOS CULTURALES.**
 - A. CONTROL DE MALEZAS**
 - B. FERTILIZACIÓN**
- 8. TURNO ROTACIÓN Y RENDIMIENTO.**
- 9. COSECHA.**



PRINCIPIOS SELVÍCOLAS DE LOS CULTIVOS FORESTALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA

Este documento pretende ser una guía práctica sobre los principios selvícolas aplicables a los cultivos forestales para la producción de biomasa con fines energéticos. En el presente se revisa el estado de conocimiento de los principales tratamientos y técnicas de cultivo que son aplicables a distintas especies leñosas bajo sistemas producción que empiezan a ser universalmente conocidos como SRWC (*Short Rotation Woody Coppicé*) y que combinan la aplicación de prácticas agrícolas y forestales.

1. INTRODUCCIÓN

Cada día está más consensuada la idea de que el sector energético es el principal responsable de la emisión a la atmósfera de CO₂ y otros gases de efecto invernadero y, por lo tanto, del consecuente calentamiento del global del planeta que acelera el cambio climático. Esta circunstancia está motivando la progresiva aplicación de medidas de gestión energética que redunden en lograr una mayor protección del medio ambiente a través de políticas que incluyen, entre otros, el desarrollo de energías a partir de fuentes renovables entre las que se encuentra la biomasa.

Se define *biomasa*, como la *materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía*", es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial. La biomasa de origen vegetal ha sido la primera fuente de energía renovable empleada por el hombre hasta la revolución industrial, incluso hoy en día para unos 2.500 millones de personas sigue siendo la principal fuente de energía.

La biomasa forestal es considerada como aquella fuente de biomasa primaria constituida por la fracción biodegradable de los productos y residuos generados en montes o plantaciones forestales y que son procesados con fines energéticos. Dentro de esta se contempla aquella producida en cultivos energéticos tanto de naturaleza leñosa como herbácea.

El empleo del término *cultivos energéticos* se ha generalizado en nuestro país al amparo del RD 661/2007 cuyo ámbito de aplicación clasifica, entre otras, la *categoría de producción b* (instalaciones que utilicen como energía primaria algunas de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier otro tipo de biocarburante, siempre y cuando su titular no realice actividad de producción en régimen ordinario) y, dentro de ésta, *el grupo b.6* como aquellas



centrales que utilicen como combustible principal biomasa procedente de cultivos energéticos, de residuos de las actividades agrícolas o de jardinería, o residuos de aprovechamientos forestales y otras operaciones selvícolas en las masas forestales y espacios verdes en los términos que figuran en su anexo II. En este anexo la definición de *Cultivo Energético* incluye la biomasa, de origen agrícola o forestal producida para fines energéticos mediante las actividades de cultivo, cosecha y,

(1) La Directiva 2001/77/EC del Parlamento Europeo y la Comisión, de 27 de septiembre de 2001 para la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovable en el mercado interno de electricidad, define biomasa como *la fracción biodegradable de todos productos, desechos y residuos de la agricultura, actividades forestales e industrias relacionadas...*

De acuerdo con el Comité Europeo de Normalización la biomasa se incluirían en dentro del CEN/TC 335: Biocombustibles sólidos aplicable, entre otros a Productos agrícolas y forestales Los cultivos energéticos forestales empiezan a ser reconocidos a escala mundial por las siglas SRC (*Short Rotation Coppice*) o SRWC (*Short Rotation Woody Crops*) identificando con éstas las plantaciones de especies leñosas con una elevada densidad y gestionadas para su cosecha a turnos cortos que varían de acuerdo a diferentes factores, entre los que destaca la especie cultivada.

La potencialidad de una especie forestal para la producción de biomasa en estos sistemas de cultivo ha de responder a las siguientes características o requerimientos:

- Tener altos niveles de productividad con bajos costes de producción para que pueda ser viable económicamente la obtención de biocombustibles con relación a los combustibles fósiles.
- Posibilidad de desarrollarse en tierras marginales, marginadas por falta de mercado o de retirada de producción de alimentos.
- Posibilidad de utilizar maquinaria agrícola convencional de uso normal en las explotaciones de la zona en aras de reducir los costes de producción.
- La biomasa producida debe ser adecuada para su utilización como biocombustibles.
- Tener un balance energético positivo, de tal forma que la energía contenida en el biocombustible producido sea superior a la gastada para producirlo.

Para poder alcanzar en lo posible estas características, interesan especies que posean:

- Vigor y precocidad de crecimiento.



- Capacidad de acumulación de energía por unidad de peso.
- Capacidad de rebrote para que no sea necesaria la siembra anual.
- Rusticidad para adaptarse a diferentes condiciones.

Las técnicas y tratamientos a aplicar en estos sistemas de cultivo no tienen otro objetivo que el asegurar uno de los principios básicos de la *Selvicultura* tradicional: conseguir producir el máximo volumen de madera comercial por unidad de espacio asegurando unas características de la producción que la hagan adecuada a cada uso industrial además del máximo retorno de la inversión realizada. En definitiva, capturar toda la capacidad productiva de un lugar determinado mediante la producción de madera u otros productos de acuerdo a las exigencias del mercado, todo ello de manera rentable en términos económicos.

En el caso de modelos selvícolas para la obtención de biomasa combustible a partir de cultivos forestales, el objetivo no deja de ser la producción de la mayor cantidad de biomasa por unidad de espacio y tiempo con una calidad energética y tamaño determinada asegurando a la par la rentabilidad de la inversión.

En base a esta aproximación, se revisan los principales aspectos selvícolas aplicables a estos cultivos forestales



2. ELECCIÓN DE LA UBICACIÓN Y LA ESPECIE

Un amplio número de especies leñosas han sido estudiadas y evaluadas por su potencial como cultivos energéticos para la obtención de biomasa en turnos cortos. Además de los géneros considerados en el anexo II del R.D. 436/2004 (*Eucalyptus*, *Populus*, *Salix*, *Robinia*, *Lavandula*, *Ligustrum* y *Malus*) pueden concebirse sistemas de producción de biomasa bajo cultivo en rotaciones cortas con especies de otros géneros como: *Betula*, *Acacia*, *Ulmits*, *Paulownia*, *Leucaenci*, *Retama*, *Ulex*,...

La elección de la especie a cultivar dependerá de las condiciones de cultivo del área elegida. De acuerdo a los condicionantes o limitantes del sitio, la especie elegida ha de responder en el mayor grado posible a los requerimientos productivos antes mencionados.

En una primera aproximación, el desarrollo de los cultivos energéticos con unas especies u otras en diferentes partes del mundo está siendo bien distinto de acuerdo a los condicionantes climáticos de la zona y a las características ecológicas de las especies. Especies caducifolias pertenecientes a los géneros *Salix* y *Populus* son las más empleadas en las zonas más septentrionales o bajo climas fríos y continentales. Géneros como *Eucalyptus* y *Acacia* reúnen mejores características para su cultivo en regiones templadas y climas mediterráneos.



Ilustración 1



Otras características ecológicas del sitio como la fisiografía, naturaleza del terreno, textura y estructura del suelo, hacen más aconsejables unas u otras especies en orden de asegurar el éxito productivo del cultivo.

En la tabla n° I se revisa la utilización de distintos géneros y especies en diferentes partes del mundo.

Pais	Especie	Grado de desarrollo	Referencias
EEUU (New York)	Salix sp.	Operacional	ESF (2002)
UK	<u>Salix / Populus</u>	Operacional	RCEP(2004) FC(2002)
Grecia	E. camaldulensis	Investigacion	EECI-network
Portugal	E. camaldulensis	Investigacion	Pereira & Pereira (1994)
Francia	E. gundal	Investigacion	EECI-network
Australia	Leucaena	Investigacion	
EEUU (Florida)	E. grandis. E. amplifolia	Investigacion	Roockwood(2004)
	Salix	Investigacion	Crown (2002)



3. ESTABLECIMIENTO E IMPLANTACIÓN

Por definición, los cultivos energéticos leñosos consisten en plantaciones a alta densidad de determinadas especies forestales de elevado rendimiento. Como se ha comentado anteriormente, consisten en sistemas de cultivo que combinan la aplicación de técnicas agrícolas y forestales.

Esta circunstancia hace que el diseño de la plantación tenga relevancia especial de cara a compatibilizar los requerimientos propios de la especie con los operacionales relativos al la aplicación de las técnicas de cultivo y su aprovechamiento. De forma paralela, se debe atender a que el diseño y desarrollo del cultivo esté armonizado con el paisaje y provoque el menor impacto posible.

3.1. DISEÑO DE LA PLANTACIÓN

Para la implantación de cultivos energéticos de especies leñosas suelen diseñarse plantaciones a marco rectangular y doble hilera en unidades de cultivo de una determinada longitud. La configuración y dimensiones de cada unidad de cultivo han de asegurar la mecanización de determinadas operaciones a la par que no limitar la eficiencia de los trabajos de cosecha. En este sentido las recomendaciones generales indican la conveniencia de dejar franjas de unos 8 m. en las cabeceras de las líneas de plantación. La longitud máxima de la línea de cultivo en cada unidad no debe ser superior a los 350 - 400 m en orden a facilitar la aplicación mecanizada de fitosanitarios y fertilizantes. De igual modo, franjas perimetrales de hasta 8 m. de ancho deben diseñarse como áreas cortafuegos para el cultivo, y otras de hasta 6 m deben permitir el transito de vehículos y maquinaria entre las distintas unidades de la plantación.

Densidad de plantación

Como en cualquier otro sistema productivo, el espaciamiento adoptado en estos cultivos tiene unas implicaciones importantes desde el punto de vista selvícola, tecnológico y económico. *A priori* la densidad de una plantación influye en la tasa de crecimiento, calidad de la madera y biomasa producidas, edad de culminación del crecimiento medio anual (IMA) y en el conjunto de tratamientos necesarios para su gestión y aprovechamiento y, consecuentemente, en los costos de producción.

Cabe por tanto considerar los aspectos selvícolas más importante relacionados con el espaciamiento en plantaciones forestales, enfocando el problema desde la perspectiva de los sistemas de cultivo para la obtención de biomasa forestal.

Densidad de plantación y volumen de biomasa



La altura y diámetro individual de los árboles, así como la supervivencia de los mismos, son variables estrechamente relacionadas con la producción del rodal a la par que son altamente susceptibles de ser modificadas por la densidad de la plantación.

El espaciamiento tiene una influencia mayor sobre el diámetro que sobre la altura de la plantación. Un aumento de la densidad de plantación trae consigo siempre una significativa reducción de crecimiento diametral y, por el contrario, no siempre reduce el crecimiento en altura de la plantación. De existir una reducción del crecimiento en altura, ésta se explica por una mayor proporción de árboles dominados una vez que comienzan a ser patentes los fenómenos de competencia dentro del rodal. Si bien, el empleo de material clonal mitiga este fenómeno dado que dentro de una masa clonal no existe esa clara segregación de clases.

El volumen unitario alcanzado por los árboles guarda una estrecha relación con la calidad de la biomasa producida. Para el cultivo de sauces suelen recomendarse densidades de plantación menores cuando la calidad de la astilla producida tiene mayor importancia que el propio rendimiento del cultivo.

Densidad de plantación y especie

La tolerancia de las especies a implantar ha de tenerse en cuenta a la hora de determinar la densidad óptima de plantación. La intolerancia a la sombra y competencia del cultivo sumada al hábito de crecimiento rápido dan lugar a una rápida segregación de estratos dentro del rodal (domnantes, co-dominantes y dominados). La edad a la que este fenómeno empieza a ser más patente depende principalmente de la especie, el espaciamiento, la calidad del sitio y la interacción entre ambos.

Están citadas en la bibliografía especies más tolerantes a la competición. Estas suelen manifestar una menor proporción de árboles dominados y una mayor homogeneidad de crecimientos cuando crecen en densidades elevadas.

Nuevamente el mejoramiento genético y el empleo de material clonal son factores que atenúan en gran medida la segregación de crecimientos y por tanto la intolerancia relativa de una determinada especie.



Densidad de plantación y edad de corte o turno

La densidad de plantación y la edad de corta del cultivo son factores estrechamente relacionados. Si partimos de una definición de turno, o edad de corta, a partir del criterio técnico, ésta quedará fijada cuando se alcance el máximo crecimiento medio de la plantación. Un aumento de la densidad de árboles acortará el intervalo de tiempo hasta alcanzar esta culminación del crecimiento. Este proceso no tiene por qué ir siempre ligado a un aumento de la productividad en volumen comercial pero si puede ir ligado - dentro de un rango de variación- a un incremento de la biomasa total.

Densidad de plantación y Calidad de Estación

El término *Calidad de Estación* representa la máxima productividad de una masa vegetal en un lugar determinado. Para una especie determinada, la calidad de estación es la suma de muchos factores ambientales entre los cuales aquellos de origen abiótico presentan una gran importancia (profundidades del suelo, textura, características de los perfiles, composición mineral, fisiografía, exposición,...)

De acuerdo con esta definición, debe de existir una adaptación de la densidad de plantación de los mismos a la calidad del terreno sobre los que se desarrollan. Espaciamientos reducidos serían indicados para los terrenos de mayor calidad y siempre que esté asegurada la supervivencia y condiciones para conseguir la brotación de las cepas en los sucesivos ciclos del cultivo.



Densidad de plantación y tratamientos selvícolas.

Un aumento de la densidad de plantación tiene como consecuencia directa el aumento de los costes variables de producción y aprovechamiento. Por tanto, tiene sentido acometer un aumento de la densidad de plantación en aquellos sitios con la suficiente calidad para asegurar un aumento de la producción, o un acortamiento del tiempo hasta alcanzar ésta, que esté balanceado con el aumento de costes esperado.

El mayor consumo de planta y fertilizante en la implantación y mantenimiento del cultivo, el aumento de la dificultad para aplicar determinados tratamientos culturales, el encarecimiento en ocasiones de la cosecha y la distribución de la biomasa total en elementos de menores dimensiones son las principales consecuencias negativas del empleo de espaciamientos cerrados desde el punto de vista técnico y económico. Por otro lado, el aumento de la densidad de plantación consigue una ocupación del terreno más rápida que tendrá consecuencias positivas sobre el control de la hierba y matorral.

La mecanización de los tratamientos selvícolas es un argumento importante a considerar a la hora de elegir el marco de plantación y, por tanto, densidad de plantación. En especial, en los cultivos forestales destinados a la producción de biomasa, éstos se proyectan bajo la hipótesis de un aprovechamiento mecanizado con cosechadoras que a la vez que colectan la biomasa procuran un enfardado o astillado de la misma. El rendimiento de estas máquinas depende de que en la plantación o cultivo las líneas de plantación se diseñaran con ésta premisa cosecha. Cada tipo de máquina y modelo se optimizan para una separación mínima entre líneas de plantación, un ancho de trabajo determinado (cultivo a doble hilera) y un tamaño máximo de los pies a cosechar.

En la tabla nº2 se revisan el rango de densidades con los que son cultivados diferentes especies para la producción de biomasa en distintas partes del mundo.

(Falta tabla)

3.2. MARCO DE PLANTACIÓN

Los primeros trabajos experimentales con cultivos energéticos se llevaron a cabo utilizando marco cuadrado de plantación con el fin de maximizar el aprovechamiento de la capacidad productiva del lugar y sin considerar las restricciones operativas de la aplicación de tratamientos la cosecha.



Hoy en día, a escala operacional la plantación a marco rectangular y la combinación de éste con la doble hilera son las soluciones más empleadas, principalmente en *Salix* y *Populus*.

Nuevamente los caracteres culturales de las especies cultivadas constituye la principal razón para seleccionar un marco de plantación u otro. Especies intolerante se verán más favorecidas por el marco cuadrado de plantación en hilera simple frente a los marcos rectangulares y la doble hilera.

4. MATERIAL VEGETAL

Con independencia de la especie elegida en cada caso, es importante contar con material vegetal de calidad y mejora genética posible.

El desarrollo de los cultivos energéticos con determinadas especies está dando lugar a un mejoramiento continuo de los materiales vegetales y al desarrollo de programas de mejoramiento genético que garanticen la mejora de los caracteres mas significativos de estos cultivos (crecimiento, resistencia a enfermedades y plagas,...)



Ilustración 2

5. PREPARACIÓN DEL TERRENO

La preparación del terreno es una operación de suma importancia dentro de cultivos energéticos de especies leñosas para la producción de biomasa. Por regla general, estos cultivos contemplan la posibilidad de obtener cosechas periódicas cada 2-5 años a partir de una sola implantación de la



especie. Por tanto, los impactos de la preparación del terreno en términos económicos y de rendimientos del cultivo han de ser considerados y evaluados a largo plazo, al menos una vez se hayan logrado de 4 a 5 ciclos de cosecha.

Las prescripciones técnicas para la correcta preparación del terreno son bien distintas dependiendo de la especie y de las características del sitio de plantación. En todos los casos, el tratamiento sobre la vegetación pre-existente y el posterior control de hierba y malezas son trabajos críticos para conseguir una buena implantación y desarrollo del cultivo. Una vez eliminada la vegetación pre-existente bien por medios mecánicos, químicos o con combinación de ambos, el posterior control de malezas antes de la plantación y durante la vida del cultivo, suele realizarse de forma química



Ilustración 3

Una enmienda orgánica previa del suelo a partir de abono orgánico o compost puede estar prescrita en suelos con bajos niveles de materia orgánica. Criterios de buenas prácticas agrícolas deben prevalecer a la hora de establecer la dosis máxima de nitrógeno en forma orgánica aplicable mediante estas enmiendas.

Las exigencias nutricionales de las distintas especies en la implantación son bien distintas y deben ser valoradas teniendo en cuenta los niveles nutricionales del terreno. Es deseable una fertilización de implantación del cultivo que equilibre la aportación simultánea de nitrógeno, fósforo y potasio. La



aplicación de este tratamiento debe realizarse de forma simultanea a la plantación con el empleo de fertilizadoras instaladas sobre la propia máquina plantadora.

Las exigencias nutricionales son crecientes en el tiempo de acuerdo al número de ciclos del cultivo. A partir de la primera cosecha y sucesivas, la plantación reúne mayor capacidad productiva, una vez el sistema radicular se encuentra parcialmente implantado y desarrollado. Este fenómeno ha sido cuantificado en especies como el sauce, estableciéndose dosis fertilizantes para el 3^o ciclo de cultivo hasta un 150% superiores a las recomendadas durante el primer turno.

Las periódicas fertilizaciones de la plantación a lo largo de los ciclos de cultivos deben realizarse salvando los limitantes que pueden llegar a representar el desarrollo de las plantaciones. Si el cultivo se ha diseñado con este propósito, se debe de contar con calles lo suficientemente anchas como para facilitar el transito de tractores implementados con abonadoras suspendidas convencionales. En el caso de plantaciones de elevada densidad sin la existencia de estas calles, la aplicación de los tratamientos fertilizantes debe de realizarse en los meses siguientes a la cosecha para que la maquinaria pueda transitar por encima del cultivo sin dañar éste.

6. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

El sistema de cultivo de SRWC reúne en ocasiones condiciones favorables (elevada densidad, uso anterior del terreno,...) para el desarrollo de determinadas plagas y enfermedades.

Recomendaciones generales para estos cultivos son el uso de mezclas de distintos materiales vegetales o variedades, el empleo de planta con determinado grado de mejora y la aplicación de aquellas medidas preventivas comunes a estas especies en el ámbito forestal.

7. TURNO, ROTACIÓN Y RENDIMIENTO

El turno de cosecha, número de rotaciones y el rendimiento son conceptos íntimamente ligados entre si y, a su vez, con la densidad de plantación empleada en el cultivo forestal, tal y como ha sido revisado con anterioridad.

Tradicionalmente, las especies forestales que son cultivadas como SRCW son manejadas con cortas periódicas con ciclos variables de entre 2 y 5 años dependiendo de la especie y lugar. En la definición del turno de cada plantación no suele prevalecer un criterio sobre otros a la hora de definir el turno del cultivo. Normalmente, la duración de cada ciclo es realizada para cada sitio



Krone-Hácksler

ponderando criterios financieros y aquellos que tienden a maximizar la producción por unidad de espacio y tiempo.



Ilustración 4

En algunos cultivos el adelanto del primer turno de corta o ciclo de cultivo se ha convertido en una práctica tradicional. El objetivo de esta forma de proceder no es otro que el estimular la brotación de las cepas y conseguir la densificación del cultivo de forma natural. La profusión de numerosos brotes a partir de cada cepa tiene ventajas desde el punto de vista del control de la competencia.

8. COSECHA

Los métodos y máquinas para la cosecha de cultivos energéticos forestales constituyen áreas en pleno avance y desarrollo. Inicialmente la maquinaria empleada en estos cultivos partió de desarrollos y métodos operacionales utilizados en el sector forestal. Paulatinamente la filosofía agrícola de la cosecha mecanizada se ido imponiendo en los nuevos diseños y desarrollos de maquinaria. Aún así, a día de hoy puede decirse que estamos frente a un sector incipiente con muy pocos modelos con implantación a escala comercial.

**Ilustración 5**

Podemos distinguir dos sistemas básicos de aprovechamiento en cultivos forestales de acuerdo con la transformación que se realice de manera simultánea a la cosecha de la biomasa. El cultivo puede ser cortado y astillado en la misma operación o por el contrario cortado y apilado o enfardado en pacas. Una variante del primero consiste en procurar fragmentos de un tamaño mayor al de astillas, con ventajas sobre éstas para la conservación en apilado. En cualquier caso, el sistema de cosecha elegido vendrá condicionado por la especie cultivada y los requerimientos de la industria transformadora.

**Ilustración 6**



La mayoría de los desarrollos de maquinaria para el aprovechamiento se han realizado sobre la base de maquinaria y tractores agrícolas como elemento propulsor. Pueden distinguirse también los que utilizan como máquina base una cosechadora agrícola y aquellos otros que utilizan un tractor. En todos los casos se han realizado implementaciones, modificaciones y adaptaciones para procurar a la maquinaria la capacidad de cosechar varias hileras del cultivo a la vez, aumentando los rendimientos del aprovechamiento.





En claro paralelismo con el desarrollo e implantación de estos cultivos a nivel comercial, los desarrollos más evolucionados y consolidados han sido realizados por fabricantes suecos y del Reino Unido principalmente para el cultivo de Salix y Populus. La especie cultivada puede condicionar también la época para realizar la cosecha. Las especies caducifolias suelen cosecharse sin hoja durante la estación fría, antes de que se produzca la brotación anual. En otros casos la estación puede condicionar o limitar la accesibilidad de la maquinaria para realizar la cosecha.





Anexo I. Ejemplo de calendario de actuaciones selvícolas en un SRWC.

Año	Periodo	Operacion
0	May-Sept	Preparación del terreno <ul style="list-style-type: none">• Subsolado• Gradeo• Refino Enmienda orgánica (si fuese necesaria)
	Oct	Aplicación de Herbicida
1	Oct-Mar	Refino y acondicionamiento del terreno. Plantación. Fertilización de implantación.
	Abr-May	Aplicación de herbicida
2	Oct-Nov	Aplicación de herbicida
	Feb-Mar	Fertilización de mantenimiento
	Mar-May	Aplicación de herbicida (si fuese necesario)
3	Dic-Mar	Cosecha, procesado y transporte de biomasa
	Mar- Abr	Fertilización de mantenimiento
	Abr-May	Aplicación de herbicida (si fuese necesario)
4	Oct-Nov	Aplicación de herbicida
	Abr-May	Aplicación de herbicida (si fuese necesario)
5	Dic-Mar	Cosecha, procesado y transporte de biomasa



	Mar- Abr	Fertilización de mantenimiento
	Abr-May	Aplicación de herbicida
6	Oct-Nov	Aplicación de herbicida
	Abr-May	Aplicación de herbicida (si fuese necesario)
7		Cosecha, procesado y transporte de biomasa
		Fertilización de mantenimiento
		Aplicación de herbicida
8	Oct-Nov	Aplicación de herbicida
	Abr-May	Aplicación de herbicida (si fuese necesario)
9	Dic-Mar	Cosecha, procesado y transporte de biomasa
	Mar- Abr	Fertilización de mantenimiento
	Abr-May	Aplicación de herbicida
10	Oct-Nov	Aplicación de herbicida
	Abr-May	Aplicación de herbicida (si fuese necesario)
11	Dic-Mar	Cosecha, procesado y transporte de biomasa



ANÁLISIS DE MUESTRAS DE CULTIVOS ENERGÉTICOS DE EUCALIPTO

AVANCE DE RESULTADOS



INTRODUCCIÓN

Como no está establecido como será su recolección, posible secado y almacenaje, no se puede saber a priori si llegará a la caldera todo el árbol o se perderá alguna fracción de algunas partes, como las hojas.

En el caso de cosecha y empaquetado completo, prácticamente llegará el 100% de las diferentes fracciones a destino. Si se practica algún tipo de secado en el terreno se perderá una parte indeterminada de las hojas y ramillos.

Por esta causa se recolectaron en Huelva muestras de las siguientes fracciones:

- o Leño juvenil
- o Ramillos adultos
- o Ramillos juveniles
- o Hojas adultas
- o Hojas juveniles
- o Corteza juvenil

Para las siguientes especies:

- o *E. globulus*
- o *E. saligna*
- o *E. maidenii*
- o *E. camaldulensis*

De esta manera, para cada especie, en función del porcentaje que se recupere de las distintas fracciones, se podrán calcular los distintos parámetros ponderados para cualquier situación.

Además, se analizaron tres árboles jóvenes de *E. globulus* en distintas etapas de crecimiento.

- o *E. globulus* 1,5 m (menos de un año)
- o *E. globulus* 2,5 m (un año)
- o *E. globulus* 4 m (año y medio)

En este informe se avanzan los resultados obtenidos. Faltan por confirmar algunos resultados dudosos del análisis elemental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras se secaron al aire, se molieron y se les determinó la humedad antes del correspondiente análisis. La molienda de los tres árboles completos se realizó en los laboratorios



de la U. de Vigo.

El poder calorífico superior se determinó según norma CEN/TS 14918:2005.

La composición elemental, C, H, N se determinó en la Universidad de Huelva.

Las cenizas se determinaron a 575°C y a 815°C.

El oxígeno se calculó según:

$$O = 100 - (\text{cenizas } 815^\circ\text{C}) - C - H - N.$$

El poder calorífico inferior, a humedad cero, se calculó según CEN/TS 14918:2005:

$$PCI_0 = PCS_0 - 212,2H - 0,8(O + N).$$

El sodio y el potasio, debido a su volatilidad a alta temperatura, se determinan a partir de las cenizas a 575°C.

El Cl se determinó en un horno TOX. En esta técnica la muestra se quema en un horno tubular en una corriente de oxígeno a 900°C y en medio ácido. El cloro presente pasa como HCl a los gases de combustión. Estos gases burbujan en una cubeta que contiene Ag⁺, a continuación se valora por coulombimetría.

El porcentaje en peso de las distintas fracciones del árbol fue determinado en los viveros de Huelva.

RESULTADOS Y COMENTARIOS

Los resultados detallados se muestran en el anexo 1. Los porcentajes aplicados para la ponderación han sido

- Leño Juvenil 33,8 %
- Ramillos adultos 2,3 %
- Ramillos Juveniles 18,3 %
- Hojas adultas 12,4 %
- Hojas Juveniles 24,7%
- Corteza Juvenil 5%

El poder calorífico depende de la composición. Cuanto más elevados sean los extractos y la lignina y más bajas sean las cenizas, más altos serán los poderes caloríficos. El poder calorífico de la lignina es de aprox. 26630 J/kg y el de los polisacáridos es de aprox. 17460 J/kg.



No disponemos aun de las humedades en origen y previas a la quema, no obstante los poderes caloríficos a cualquier humedad M se pueden calcular según:

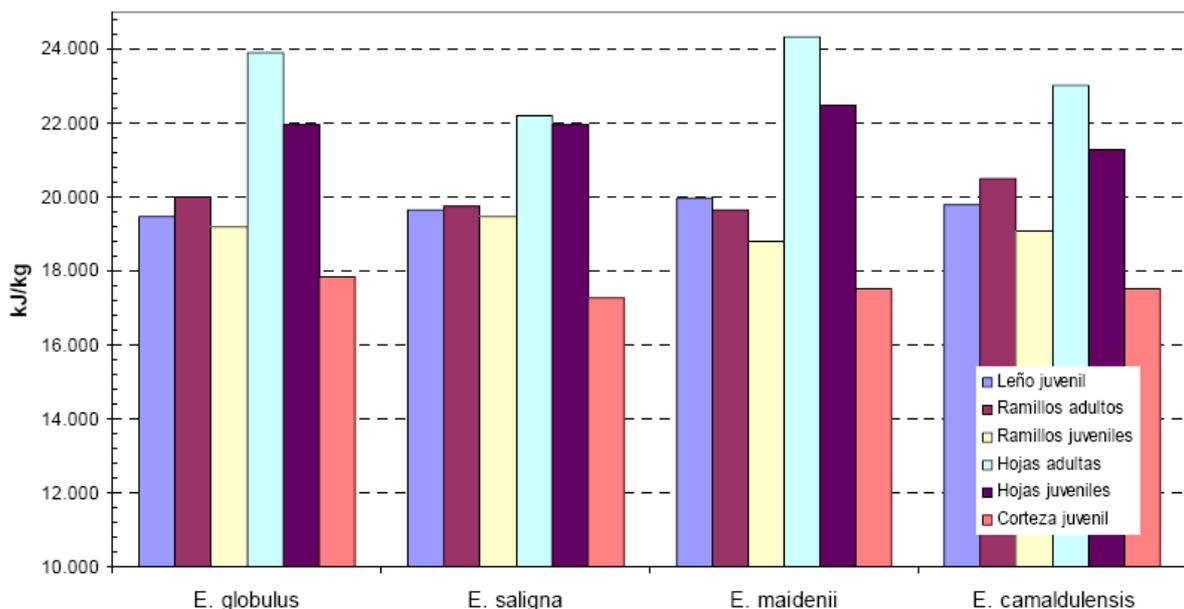
$$PCS_M = PCS_0 (1 - 0,01M)$$

$$PCI_M = PCI_0 (1 - 0,01M) - 24,3M$$

En la tabla 5 del trabajo de Pérez et al (5) se reportan humedades iniciales de algunas fracciones de biomasa de globulus y nitens que pueden ser útiles para ver humedades iniciales y poder estimar los PCI. En ese trabajo aconsejan pensar en un presecado previo a la quema.

A continuación se comentan los resultados obtenidos:

Poder calorífico superior a humedad 0



Destacan por su alto poder calorífico las hojas, debido a su elevado contenido en extractos como refleja su más elevado contenido en C.

El poder calorífico más bajo lo da la corteza, debido a su menor contenido en C y mayor contenido en cenizas.

Las hojas presentan, como es conocido, un alto contenido en nitrógeno. Por tanto su combustión presenta dos aspectos negativos: resta fertilidad al suelo y aumentará el contenido de N del combustible.



E. globulus

Referencia		Madera (leño juvenil)	Corteza (juvenil)	Ramillos		Hojas		Arbol Ponderado	
		B070612-7	B070612-8	Adultos B070612-3	Juveniles B070612-4	Adultas B070612-1	Juveniles B070612-2		
Sequedad	Inicial	%						0,0	
	Análisis	%	96,2	94,1	94,4	93,7	95,1	92,8	94,5
Poder Calorífico	PCS (Humedad 0%)	kJ/kg	19.458	17.827	20.010	19.179	23.900	21.966	20.452
	PCI (Humedad 0%)	kJ/kg	18.146	16.611	18.671	17.943	22.374	20.671	19.139
	PCI de quema (a su humedad)	kJ/kg							0
	PCS (Humedad 0%)	kcal/kg	4.648	4.259	4.780	4.582	5.710	5.247	4.886
	PCI (Humedad 0%)	kcal/kg	4.335	3.968	4.460	4.266	5.345	4.938	4.572
	PCI de quema (a su humedad)	kcal/kg							0
Composición Elemental	C, base seca	%	46,60	44,15	47,62	44,73	54,37	49,95	47,86
	H, base seca	%	6,01	5,56	6,15	5,65	7,06	5,95	6,02
	N, base seca	%	0,24	0,59	0,65	0,57	1,57	1,66	0,85
	S, base seca	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
	Cloruros (AOX) Base seca	%	0,11	0,53	0,26	0,32	0,33	0,41	0,29
	Sodio (575 °C)	%	0,02	0,11	0,10	0,09	0,13	0,15	0,09
	Potasio (575 °C)	%	0,35	0,64	0,69	0,83	0,72	1,01	0,68
Cenizas	a 575 °C Base seca	%	1,5	6,7	4,1	3,8	3,8	4,7	3,5
	a 815 °C Base seca	%	1,1	5,1	3,2	2,7	3,3	3,7	2,7
Ponderación (en peso) respecto árbol completo		%	33,8	8,5	2,3	18,3	12,4	24,7	100,0
PCS predicho a partir composición elemental		kJ/kg	18.571	17.246	19.421	17.425	23.732	20.350	19.338
desviación		%	-5	-3	-3	-9	-1	-7	-5
Ratio álcali / PCS		kg/GJ	0,23	0,51	0,48	0,58	0,43	0,64	0,46

E. saligna

Referencia		Madera (leño juvenil)	Corteza (juvenil)	Ramillos		Hojas		Arbol Ponderado	
		B070612-13	B070612-12	Adultos B070612-10	Juveniles B070612-11	Adultas B070612-8	Juveniles B070612-9		
Sequedad	Inicial	%						0,0	
	Análisis	%	78,9	89,8	89,2	91,3	77,6	79,8	82,4
Poder Calorífico	PCS (Humedad 0%)	kJ/kg	19.653	17.278	19.761	19.458	22.205	21.967	20.307
	PCI (Humedad 0%)	kJ/kg	18.349	16.069	18.414	18.148	20.713	20.469	18.937
	PCI de quema (a su humedad)	kJ/kg							0
	PCS (Humedad 0%)	kcal/kg	4.695	4.128	4.721	4.648	5.305	5.248	4.851
	PCI (Humedad 0%)	kcal/kg	4.383	3.839	4.399	4.335	4.948	4.890	4.524
	PCI de quema (a su humedad)	kcal/kg							0
Composición Elemental	C, base seca	%	48,12	42,50	49,08	46,21	54,06	54,37	49,60
	H, base seca	%	5,98	5,52	6,19	6,00	6,90	6,93	6,30
	N, base seca	%	0,24	0,49	2,54	0,52	1,97	2,82	1,22
	S, base seca	%							
	Cloruros (AOX) Base seca	%	0,21	0,91	0,33	0,25	0,53	0,60	0,42
	Sodio (575 °C)	%	0,09	0,18	0,19	0,36	0,48	0,67	0,34
	Potasio (575 °C)	%	0,32	0,46	0,61	0,29	1,07	0,73	0,53
Cenizas	a 575 °C Base seca	%	1,6	7,4	4,0	2,5	5,6	5,2	3,7
	a 815 °C Base seca	%	1,2	4,9	2,9	1,9	4,7	4,5	2,9
Ponderación (en peso) respecto árbol completo		%	33,8	8,5	2,3	18,3	12,4	24,7	100,0
PCS predicho a partir composición elemental		kJ/kg	19.219	16.413	20.265	18.463	23.527	23.764	20.524
desviación		%	-2	-5	3	-5	6	8	1
Ratio álcali / PCS		kg/GJ	0,26	0,46	0,50	0,43	0,87	0,81	0,54



E. maidenii.

Referencia		Madera	Corteza	Ramillos		Hojas		Arbol Ponderado	
		(leño juvenil)	(juvenil)	Adultos	Juveniles	Adultas	Juveniles		
		B070614-13	B070614-14	B070614-12	B070614-11	B070614-10	B070614-09		
Sequedad	Inicial	%						0,0	
	Análisis	%	91,7	91,2	90,7	89,4	91,0	90,5	90,8
Poder Calorífico	PCS (Humedad 0%)	<i>kJ/kg</i>	19.791	17.532	20.502	19.086	22.999	21.281	20.253
	PCI (Humedad 0%)	<i>kJ/kg</i>	18.532	16.335	19.209	17.820	21.613	19.876	18.945
	PCI de quema (a su humedad)	<i>kJ/kg</i>							0
	PCS (Humedad 0%)	<i>kcal/kg</i>	4.728	4.188	4.898	4.559	5.494	5.084	4.838
	PCI (Humedad 0%)	<i>kcal/kg</i>	4.427	3.902	4.589	4.257	5.163	4.748	4.526
	PCI de quema (a su humedad)	<i>kcal/kg</i>							0
Composición Elemental	C, base seca	%	46,65	43,99	47,84	45,64	51,06	48,84	47,36
	H, base seca	%	5,76	5,47	5,93	5,80	6,39	6,47	6,00
	N, base seca	%	0,38	0,68	0,59	0,98	1,71	2,50	1,21
	S, base seca	%							
	Cloruros (AOX) Base seca	%	0,12	0,36	0,31	0,33	0,33	0,25	0,24
	Sodio (575 °C)	%	0,16	0,19	0,28	0,18	0,31	0,27	0,21
	Potasio (575 °C)	%	0,51	0,81	0,40	0,98	0,47	0,77	0,68
Cenizas	a 575 °C Base seca	%	1,6	8,7	4,4	6,4	6,2	6,5	4,9
	a 815 °C Base seca	%	1,2	5,4	3,2	4,4	5,1	4,9	3,6
Ponderación (en peso) respecto árbol completo		%	33,8	8,5	2,3	18,3	12,4	24,7	100,0
PCS predicho a partir composición elemental		<i>kJ/kg</i>	18.284	17.081	19.224	18.195	21.525	20.677	19.180
desviación		%	-8	-3	-6	-5	-6	-3	-5
Ratio álcali / PCS		<i>kg/GJ</i>	0,42	0,70	0,42	0,75	0,43	0,61	0,55

E. rostrata.

Referencia		Madera	Corteza	Ramillos		Hojas		Arbol Ponderado	
		(leño juvenil)	(juvenil)	Adultos	Juveniles	Adultas	Juveniles		
		B070614-13	B070614-14	B070614-12	B070614-11	B070614-10	B070614-09		
Sequedad	Inicial	%						0,0	
	Análisis	%	91,7	91,2	90,7	89,4	91,0	90,5	90,8
Poder Calorífico	PCS (Humedad 0%)	<i>kJ/kg</i>	19.791	17.532	20.502	19.086	22.999	21.281	20.253
	PCI (Humedad 0%)	<i>kJ/kg</i>	18.532	16.335	19.209	17.820	21.613	19.876	18.945
	PCI de quema (a su humedad)	<i>kJ/kg</i>							0
	PCS (Humedad 0%)	<i>kcal/kg</i>	4.728	4.188	4.898	4.559	5.494	5.084	4.838
	PCI (Humedad 0%)	<i>kcal/kg</i>	4.427	3.902	4.589	4.257	5.163	4.748	4.526
	PCI de quema (a su humedad)	<i>kcal/kg</i>							0
Composición Elemental	C, base seca	%	46,65	43,99	47,84	45,64	51,06	48,84	47,36
	H, base seca	%	5,76	5,47	5,93	5,80	6,39	6,47	6,00
	N, base seca	%	0,38	0,68	0,59	0,98	1,71	2,50	1,21
	S, base seca	%							
	Cloruros (AOX) Base seca	%	0,12	0,36	0,31	0,33	0,33	0,25	0,24
	Sodio (575 °C)	%	0,16	0,19	0,28	0,18	0,31	0,27	0,21
	Potasio (575 °C)	%	0,51	0,81	0,40	0,98	0,47	0,77	0,68
Cenizas	a 575 °C Base seca	%	1,6	8,7	4,4	6,4	6,2	6,5	4,9
	a 815 °C Base seca	%	1,2	5,4	3,2	4,4	5,1	4,9	3,6
Ponderación (en peso) respecto árbol completo		%	33,8	8,5	2,3	18,3	12,4	24,7	100,0
PCS predicho a partir composición elemental		<i>kJ/kg</i>	18.284	17.081	19.224	18.195	21.525	20.677	19.180
desviación		%	-8	-3	-6	-5	-6	-3	-5
Ratio álcali / PCS		<i>kg/GJ</i>	0,42	0,70	0,42	0,75	0,43	0,61	0,55



SUPERFICIE PLANTACION	100 ha		
CHOPOS PLANTADOS	6.666 plantas	MARCO	3 X 0,5 M
TURNOS APROVECHAMIENTOS	R3T3R3T3 años		
RENTA ANUAL	100 €		
PERIODO EXPLOTACION	15 años		
PORCENTAJE SOBRE PRODUCCIÓN	0%		
PORCENTAJE CONSORCIO	100%		
	m3		
PORCENTAJE GASTOS INDIRECTOS	5%		
Incremento anual precio de la madera esperado	3,00%		
Precio TM de asfilla al 50% humedad	55,00 €		
Incremento anual costes	3,00%		
Incremento anual renta (IPC)	3,00%		
		R3T3	R3xT3
nº turnos		1	4
turno años		3	3
Producción t/ha		42	63
Producción t/ha/turno		14	21
Producción media anual		20	
RATIO UTILIZACION		98%	
Precio estaqueilla		0,18 €/ud	
Gastos cosecha		5,00 €/tn	
T/ha		7,57 €/tn	

EDAD		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª
INGRESOS																
INGRESO MADERA PRODUCIDA				240.167			393.655			430.157			470.044			513.630
GASTOS	0,0%															
SUBSOLAR CRUZADO CON BULDOZER	0,00	0														
SUBSOLAR LINEAL CON BULDOZER	0,00	0														
SUBSOLAR CRUZADO CON TRACTOR	115,00	11.270														
SUBSOLAR LINEAL CON TRACTOR	0,00	0														
ARADO	80,00	7.840														
CHISSEL CON RODILLO	55,00	5.390														
ESTAQUILLA	1.199,38	117.538														
PLANTACION	150,00	14.700														
ABONAR	115,00	11.270														
ABONAR MNTENIM	90,00	8.820			9.838			10.532			11.508			12.575		
LABRAR	85,00	8.330	8.560		9.102	9.375		9.948	10.245		10.869	11.195		11.877	12.233	
SELECCION DE BROTE																
REGAR	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTALACION RIEGO RENTING	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INSTALACION RIEGO INVERSION SUP NETA	2.000	195.000														
HERBICIDA PRE-EMERGENCIA	80,00	7.840	8.075		8.587			9.381			10.229		10.852	11.178		
FTO. FITOS	100,00	9.800			10.709			11.702			12.707		13.972			
COSECHA				34.933			57.259			62.568			80.370			74.710
TRANSPORTE				33.058			54.181			59.205			84.695			70.694
OTROS GASTOS	80,00	7.840	8.075	8.317	8.587	8.824	9.089	9.381	9.842	9.931	10.229	10.538	0	0	0	0
TOTAL COSTES DIRECTOS		408.688	24.730	78.308	48.583	18.199	120.529	50.962	19.887	131.705	55.822	21.731	143.918	49.802	12.233	145.404
GASTOS INDIRECTOS		20.334	1.237	3.615	2.329	910	6.028	2.545	904	6.505	2.781	1.087	7.198	2.480	812	7.270
COSTE ANUAL		427.023	26.967	80.122	48.912	19.109	126.555	53.448	20.881	138.290	68.404	22.818	151.114	52.082	12.645	152.674
RENTA ANUAL	100	10.000	10.300	10.600	10.927	11.255	11.593	11.941	12.299	12.669	13.048	13.439	13.842	14.258	14.685	15.126
GASTOS TOTALES DEL AÑO		437.023	38.267	90.731	59.839	30.385	138.148	66.388	33.180	150.858	71.451	38.257	164.956	66.340	27.530	167.800
FLUJOS DE CAJA		-437.023	-38.267	149.438	-48.939	-30.385	258.507	-48.538	-33.180	278.199	-71.451	-38.257	305.080	-66.340	-27.530	345.330
TIR			8,3%													

INGRESOS ANUALES PROPIETARIO		10.000 €	10.300 €	10.600 €	10.927 €	11.255 €	11.593 €	11.941 €	12.299 €	12.669 €	13.048 €	13.439 €	13.842 €	14.258 €	14.685 €	15.126 €
INGRESOS MADERA PROP				0 €		0 €		0 €		0 €		0 €		0 €		0 €
INGRESOS RENTA		10.000 €	10.300 €	10.600 €	10.927 €	11.255 €	11.593 €	11.941 €	12.299 €	12.669 €	13.048 €	13.439 €	13.842 €	14.258 €	14.685 €	15.126 €
TOTAL INGRESOS PERIODO		10.000 €	10.300 €	10.600 €	10.927 €	11.255 €	11.593 €	11.941 €	12.299 €	12.669 €	13.048 €	13.439 €	13.842 €	14.258 €	14.685 €	15.126 €
INGRESO MEDIO ANUAL		10.000 €														



PARTE II BIOMASA FORESTAL RESIDUAL



1. INTRODUCCIÓN

Uno de los factores limitantes a la hora de elaborar un plan de viabilidad para un proyecto de valorización energética de la biomasa forestal, reside en el cálculo del coste real de la materia prima y concretamente de la saca y manejo de la biomasa. Se hace imprescindible la realización de trabajos encaminados a evaluar las cantidades reales de biomasa disponible y el coste de extracción de la misma, a la vez que se optimizan los procesos y técnicas de explotación aplicando una gestión forestal sostenible.

Mediante el análisis del IFN3 a través de herramientas SIG, se determinaron los recursos disponibles y explotables de manera sostenible en ambas comarcas de estudio. Teniendo en cuenta los factores restrictivos como la propiedad, la pendiente o las limitaciones ambientales, se obtuvieron valores de biomasa total anual extraíble y producción media anual por hectárea para cada estrato de vegetación. Ambos valores eran absolutamente teóricos y basados en la extracción hipotética de la posibilidad de cada estrato de vegetación con cortas cada 20 años y selvicultura tradicional para cada especie.

Con objeto de contrastar los datos teóricos con datos reales a nivel de monte, se ejecutaron a nivel de parcela varios ensayos de extracción de biomasa mediante técnicas específicas de densificado (astillado y empacado) en zonas de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y otras dos parcelas con técnicas de aprovechamiento de leñas en zonas de monte bajo de quejigo (*Quercus faginea* Lam.) y encina (*Quercus ilex* L. subsp. *rotundifolia*).

2. OBJETIVOS

A continuación tratan de establecerse los rendimientos y precios asociados al aprovechamiento de la biomasa forestal residual, con el objetivo de determinar los costes de dicha biomasa, hay que destacar que se trata por lo general, salvo que se trate de tratamientos de eliminación, de operaciones de bajo rendimiento que dan como resultado costes elevados por unidad de biomasa. A esto hay que añadir, que por lo general este tipo de actuaciones recibe ayudas, por lo que en muchos de los casos en cómputo global puede resultar favorable el aprovechamiento con fines energéticos de la misma.



3. METODOLOGÍA

Se hace necesario diferenciar entre las parcelas ejecutadas en las masas de pinar, y eucalipto de las parcelas realizadas en zonas de monte bajo.

Maquinaria y equipos empleados

BIOMASA OBTENIDA

La humedad del material obtenido se calculó para la astilla de pinar y el material empacado en laboratorio, obteniéndose valores medios de humedad del 50% en base seca. La humedad de las leñas se estimó en el 50% y para los restos de encinar del 65%. Con estos valores de humedad se determinaron los valores de biomasa obtenida en materia seca por hectárea mediante la pesada de los camiones y remolques.

4. RENDIMIENTOS Y COSTES DE LOS APROVECHAMIENTOS.

Una vez procesados los estadillos de toma de tiempos y solventadas las incidencias detectadas ocasionadas por alteraciones en la organización de los trabajos o desviaciones en la toma de datos, se calcularon los tiempos de trabajo de cada equipo y los rendimientos por unidad de biomasa aprovechada realmente. En las siguientes tablas (Tabla 1 y 2) figuran los valores de tiempos, rendimientos y costes para cada parcela.

Tabla 1. Tiempos de trabajo, rendimientos y costes por unidad de biomasa obtenida para cada fase de los trabajos y equipo. Pino.

Fase de la actuación	Equipo	Rendimiento (t ms/hora)	Coste unitario (€/t ms)
Apeo	Cuadrilla	50	2
Reunión	Skidder arrastrador	14	8
Desembosque	Autocargador	4,28	9,00
Astillado	Astilladora fija (JENZ HEM 561 Z)	18	11
Carga astilla	Pala cargadora	25	2



Fase de la actuación	Equipo	Rendimiento (t ms/hora)	Coste unitario (€/t ms)
Apeo y procesado	Procesadora Timber Jack 1070D/8R	20	7.5
Desembosque	Autocargador Timber Jack 1110-D-8R	25	6
Empacado	Empacadora (Forestpack-Trabisa)	15	15

Tabla 2. Tiempos de trabajo, rendimientos y costes por unidad de biomasa obtenida para cada fase de los trabajos y equipo. Eucalipto enfardado.

Tabla 3. Tiempos de trabajo, rendimientos y costes por unidad de biomasa obtenida para cada fase de los trabajos y equipo.

Fase de la actuación	Equipo	Rendimiento (t ms/hora)	Coste unitario (€/t ms)
Apeo y desrame	Cuadrilla motoseristas	10	12
Troceado y apilado	Cuadrilla peones forestales	10	10

Tabla 4. Tiempos de trabajo, rendimientos y costes por unidad de biomasa obtenida para cada fase de los trabajos y equipo. Podas Quercus.

Fase de la actuación	Equipo	Rendimiento (t ms/hora)	Coste unitario (€/t ms)
Apeo y desrame	Cuadrilla motoseristas	12	20
Preparación estéreos y acordonado restos	Cuadrilla peones forestales	6	25

TRANSPORTE

Para el transporte de la biomasa se asumen los siguientes estandares de mercado.

Asumiendo un distancia máxima de 70 Km. hasta la planta.

Transporte de astilla: 8 €/tm.



Transporte de madera en rollo o fardos: 6 €/tm.

5. CONCLUSIONES

Los aprovechamientos de leñas mediante resalveo no mecanizado con objeto de usar dicho material con fines energéticos tradicionales (leñas) resultan excesivamente caros con el sistema utilizado, sin embargo es un sistema de aprovechamiento que puede ser aplicado fácilmente por los particulares en pequeñas superficies.

Los aprovechamientos de montes bajos con fines energéticos a escala superior a la del autoabastecimiento de un propietario, deben mecanizarse y muy probablemente realizarse únicamente en aquellas zonas donde las cortas puedan ser intensas, incluso a matarrasa con objetivo de maximizar la producción, siempre y cuando sean compatibles con los aspectos ambientales. Se hace necesario la realización de nuevos ensayos a escala real en zonas de monte bajo con métodos de aprovechamiento de árbol entero, densificando el material aprovechado (astillado), evitando al máximo la mano de obra (uso de cosechadoras) con objeto de abaratar costes.

Es necesario planificar adecuadamente los aprovechamientos de biomasa forestal, fundamentalmente en masas naturales, siendo imprescindible disponer de adecuados inventarios de las masas y de los valores modulares (cantidad de biomasa a nivel de especie por clases diamétricas) a nivel local (monte y comarca), con objeto de preveer las producciones y posibilitar así las necesarias planificaciones que aseguren un aprovechamiento sostenible del recurso garantizando la viabilidad de proyectos energéticos.

La mecanización de los montes se hace imprescindible para mejorar rendimientos y disminuir costes, sin embargo en algunas zonas puede seguir siendo muy operativo y asumible económicamente el apeo manual con motosierras y el arrastre o reunión mediante mulos o machos en zonas de pendiente, lo que contribuye a generar mano de obra.



De los dos sistemas ensayados en las parcelas de pinar, el método de aprovechamiento de biomasa forestal más económico ha resultado ser el astillado del árbol entero en cargadero, que arroja unos valores de tonelada de materia seca en cargadero de 30 € sin costes complementarios.

Se puede deducir que el astillado en cargadero del árbol entero es el sistema más eficaz y barato pero que sin embargo genera dificultades en la logística de transporte, encareciendo mucho la materia prima. (2 €/t ms de cargar la astilla y 0,25 €/t mh el kilómetro de transporte). Una buena organización logística puede evitar el coste de la carga de la astilla si se astilla directamente sobre los contenedores o camiones.

El astillado es una tecnología más madura que da mayor eficiencia. Si los transportes desde el monte a la planta son pequeños, se puede acudir a un astillado en planta de árboles enteros para resolver los temas logísticos.

El empacado ha resultado ser un método poco flexible y de difícil adaptación a los montes de pinar de resultando muy caro pero resuelve algunos problemas de logística (se evitan los costes de la carga), siendo el transporte más barato (0,15 € / t mh / km) que para la astilla. El empacado logra una alta densificación de la biomasa facilitando el transporte.

Es necesario realizar nuevos ensayos a escala real tanto para ensayar diferentes tecnologías y maquinarias como para ensayar diferentes sistemas de aprovechamiento y en concreto los mixtos de dos productos para dos destinos diferentes, ya que en el caso de puede ser muy interesante por la existencia de una importante industria del tablero.

El coste de la tonelada de astilla seca al 0% de humedad considerando los costes de carga, transporte a 40 km. y los costes complementarios de retribución del propietario y de las actuaciones de limpieza y adecuación de la zona de corta, asciende a 65 €. Si no hubiera que haber hecho frente a los costes complementarios y se hubiera realizado una buena logística de los transportes, el precio de la astilla al 0% de humedad se quedaría en 55 € en cargadero.