

**Características de los principales cultivos leñosos y de la biomasa producida para uso energético**

# Desarrollo de los cultivos energéticos leñosos en España

La situación del sector agrícola, energético y medioambiental existente, hacen replantear los conceptos que se tienen de una agricultura extensiva tradicional y dedicar parte de la superficie agrícola a cultivos con fines no alimentarios garantizando la continuidad de la actividad del sector agrícola y de las empresas relacionadas con este sector. Para esto, se deben obtener productos con gran demanda, capaces de generarse a partir de biomasa vegetal en plantaciones extensivas y con un coste de producción que haga rentable su comercialización.

En este contexto, es necesario considerar como alternativa la Agroenergética: producción de biomasa mediante cultivos específicos (cultivos energéticos) para su aprovechamiento energético, entre los que se encuentran los cultivos energéticos leñosos.



Foto 1. Plantación de chopos en alta densidad. CEDER-CIEMAT (Soria).

**M<sup>a</sup> Pilar Ciria Ciria.**

Dra. Ingeniero Agrónomo.  
CEDER-CIEMAT (Soria). Unidad de Biomasa.

**C**ultivo energético es aquel cuya cosecha va destinada a producir energía y pretende concentrar gran cantidad de biomasa por unidad

de superficie, a fin de necesitar la menor superficie agrícola posible para garantizar un suministro de forma competitiva. Para el desarrollo de los cultivos energéticos de forma significativa se deben dar como mínimo dos condiciones: la disposición de superficies agrícolas adecuadas para su cultivo y que su producción sea rentable para el agri-

cultor, en términos económicos. En investigaciones a nivel internacional se estudian las posibilidades de aprovechamiento energético de distintas especies que, hasta el momento, tenían otro o ningún fin productivo, así como su adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas.

Existen numerosas especies de cultivos

susceptibles de utilizarse con fines energéticos, cuya relación se va ampliando con el transcurso de los años, a medida que se van conociendo. Sin embargo, aunque el número de especies puede ser considerable, en la práctica la posibilidad de elección es reducida debido, principalmente, a que solo unas cuantas se adaptan con buenos rendimientos a las condiciones edafoclimáticas que se poseen, a la disponibilidad de material vegetal y de información acerca del comportamiento de las especies en las distintas áreas de cultivo y a sus aptitudes para producir biomasa en cantidad y de calidad aceptables en el contexto energético. Por otra parte, hay que tener en cuenta que ninguna de estas especies ha sido mejorada para producción energética por lo que se espera, en un futuro, poder conseguir mayor producción.

Atendiendo al tipo de biomasa que se puede obtener, los cultivos energéticos pueden ser de naturaleza herbácea o leñosa, siendo a estos últimos a los que se refiere el presente artículo.

## Cultivos lignocelulósicos leñosos

Los cultivos energéticos leñosos son cultivos lignocelulósicos, productores de biocombustibles sólidos con fines térmicos y/o eléctricos o para la producción de biocarburantes de segunda generación como sustitutos de los carburantes convencionales.

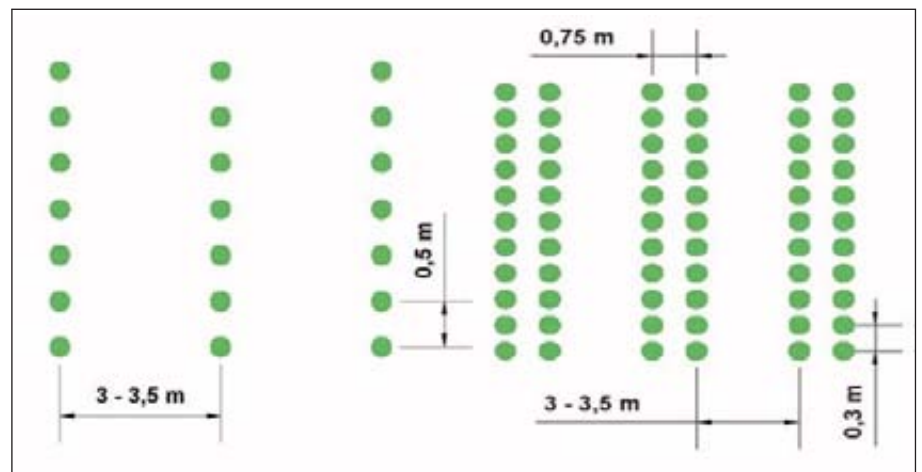
Estos cultivos consisten en plantaciones de especies seleccionadas, principalmente por su precocidad, rapidez de crecimiento y capacidad de rebrote tras el corte (rebrote de cepa). En general, solamente las frondosas (respecto a las coníferas) tales como, chopo (*Populus* spp), sauce (*Salix* spp), olmo de siberia (*Ulmus pumila* L.), Paulownia (*Paulownia* spp), eucalipto (*Eucalyptus* spp), robinia (*Robinia pseudoacacia* L.), o plátano de paseo (*Platanus hybrida*) entre otras, cumplen estos requisitos. Además interesa que presenten fácil establecimiento, que haya disponibilidad de material vegetal y que éste sea susceptible a la mejora genética, que sean especies resistentes a heladas, sequía, plagas y enfermedades, que rebroten vigorosamente tras cada corta, que sean capaces de crecer en plantaciones densas y con alta



Foto 2. Sauce a densidad de 10.000 plantas/ha. CEDER-CIEMAT (Soria).

## FIGURA 1

Esquema de plantación posible para densidades de unos 6.000 (izquierda) a 18.000 (derecha) plantas/ha.



producción de biomasa en turno corto y que presenten alto contenido en energía.

Puesto que se pretende producir energía, además de ser económicamente viable su cultivo, deberá presentar un balance energético positivo y tener bajas emisiones en producción y procesado. En estos balances juegan un papel importante los inputs utilizados como son los fertilizantes y el aporte hídrico, por lo

que a efectos de disminuir éstos, se deben implantar en zonas en las que sean lo más compatibles posibles con el medio ambiente.

El manejo de estos cultivos difiere del tradicional. La cosecha se realiza en turnos de corta reducidos (generalmente inferiores a cinco años) y el número de años transcurridos entre dos recolecciones consecutivas varía entre dos y cinco años. Puesto que rebrota de





Foto 3. Olmos en secano en primer periodo vegetativo. CEDER-CIEMAT (Soria).

cepa, después de cada corta, ya se tiene una nueva plantación. Cada corta se realiza en la época de parada vegetativa y después de que hayan caído las hojas en el caso de tratarse de especies de hoja caduca. Se estima que la vida de la plantación puede ser superior a quince años. Existe la operación opcional del recepe, que consiste en cortar los tallos a ras del suelo al final del primer periodo de crecimiento y su misión es favorecer el desarrollo de las yemas latentes situadas en la base del tallo formando una especie de cepa, a partir de la cual, crezcan con mayor vigor un mayor número de brotes. No obstante, y debido a los pocos datos existentes al respecto, aunque a primera vista el recepe parece una ventaja, queda por evaluar el efecto en la producción global de la plantación así como la dificultad en el uso de maquinaria en las recolecciones posteriores a causa del excesivo ramaje.

Se utilizan marcos pequeños, con espaciamientos incluso inferiores a 1 m, para conseguir densidades superiores a 10.000 plantas/ha, pudiéndose realizar la plantación en líneas individuales o pareadas (figura 1).

A la hora de fijar el turno de corta y densidad de la plantación, además de la producción esperada, se debe tener en cuenta la disponibilidad de maquinaria y el crecimiento potencial de la planta (diámetro y altura) a la densidad determinada, pues este paráme-

tro condiciona enormemente la maquinaria de recolección a utilizar.

La implantación puede hacerse en el comienzo del otoño o al final del invierno-principio de la primavera, dependiendo en cada caso de la especie y las condiciones climáticas de la zona.

A continuación se describen las características más relevantes de las principales especies consideradas actualmente.

### Chopo (*Populus spp*) y sauce (*Salix spp*)

El chopo (foto 1) y el sauce (foto 2) pertenecen a la familia de las Salicáceas. En España, el chopo es el cultivo energético leñoso más estudiado y conocido hasta el momento. En la actualidad existen plantaciones de demostración en varias zonas de España (proyecto PSE-On Cultivos).

Dispone de amplitud ecológica y variación genética, características que posibilitan, en gran parte, su mejora genética. Su multiplicación se realiza, normalmente, por medio de estacilla o brotes de cepa. El tamaño de las estaquillas varía alrededor de los 25 cm de longitud y los 8-20 mm de diámetro. Generalmente, la producción de estacilla se realiza a partir de plantas madres cultivadas en vivero pero, también, pueden aprovecharse las varas obtenidas el primer año tras el recepe.



Foto 4. Eucalipto en alta densidad.



Foto 5. Paulonia en alta densidad en parada vegetativa.

Se adaptan a gran diversidad climática siempre que disponga de agua, pues ambos géneros tienen necesidades hídricas elevadas.

La temperatura óptima de crecimiento está entre 15°C y 25°C siendo limitantes las inferiores a 5-10°C y superiores a 30-40°C (Bacher, 1998), si bien existen especies de sauce tolerantes a -30°C. Crecen bien en muchos tipos de suelo, a condición de regarlos periódicamente. El chopo prefiere suelos de textura tipo franca a franca-arenosa con materia orgánica y el sauce arcillosa o arenolimsa. No se consideran especies exigentes en nutrientes y, gracias a esto, puede encontrarse en suelos de regadío que son pobres para el cultivo agrícola, aunque no cabe duda de que un suelo fértil favorece su desarrollo. Tras el recepe o la cosecha, el sauce produce mayor número de vastagos que el chopo pero de menor tamaño.

Los rendimientos obtenidos en estas plantaciones dependen de una gran cantidad de factores, entre los que cabe citar: el clima, el tipo de suelo, el clon, la presencia de plagas o enfermedades, las técnicas de cultivo empleadas, el turno de corta y la densidad de plantación. No obstante, los resultados obtenidos a nivel internacional son prometedores.

Respecto al chopo, aunque hay referencias de que las producciones pueden pasar de 20 t ms/ha y año (Christersson, 2006), Bacher (1998) cifra la producción media de biomasa entre 12 y 15 t ms/ha y año. Producciones obtenidas en España (Ciria, 2009) en diferentes condiciones edafoclimáticas con diferentes clones, densidad y turno de corta indican la gran variabilidad que se produce como consecuencia del empleo de distintas condiciones de cultivo, pudiendo pasar las 20 t ms/ha y año. Comparando la producción media de biomasa durante tres ciclos consecutivos, se puede ver que, en general, hay una tendencia a aumentar la productividad a partir del primer ciclo, si bien, falta por

determinar el número de ciclos durante los que puede mantenerse esta producción.

Respecto al sauce, no se disponen de datos para España. Bacher (1998) indica valores de 5 t ms/ha y año para Irlanda y de 15-20 t ms/ha y año en Italia.

La densidad de su madera es baja y el contenido de humedad en el momento de la cosecha del 50-60%.

### Olmo de siberia (*Ulmus pumila* L.)

El olmo de siberia (**foto 3**) es una especie de la familia de las Ulmáceas. Tiene su origen en China, Mongolia, Corea y Siberia.

Es un árbol de pequeño tamaño, tallo ramificado a media copa, la cual es ancha y globosa y emite un gran número de rebrotes por planta. Sus hojas son caducas.

Es una especie de rápido crecimiento y tolerante a condiciones edafoclimáticas adversas pero no soporta el encharcamiento durante largos periodos de tiempo. Es capaz de reproducirse tanto por semillas como por estaquillas y se caracteriza por ser bastante

resistente a la grafiosis y por su resistencia a la sequía y a las heladas.

Su dureza, la capacidad para emitir gran cantidad de rebrotes tras la corta y la capacidad para tolerar suelos secos y pobres lo hacen ideal para plantaciones densas.

Se utiliza con fines ornamentales en plazas y paseos de la zona mediterránea sin necesidad de riegos estivales pero existen muy pocos estudios sobre el cultivo de esta especie leñosa en turno corto. Los primeros estudios como cultivo energético se llevaron a cabo en EE.UU., donde se obtuvieron rendimientos medios próximos a 10 t ms/ha y año con una densidad de 7.000 plantas/ha. En España, en experiencias en clima continental extremo (Teruel), a densidades de plantación de 3.333 plantas/ha tras los tres primeros años de cultivo se obtuvieron productividades de entre 3,40 y 13,98 t ms/ha y año (Iriarte, 2008), diferencia atribuida a la gran variabilidad existente determinada por la falta de selección de material reproductor.

## ¿Rentabilidad?



## ¡Rentabilidad!



**EPSO<sup>®</sup>Top**  
16% MgO, 32% SO<sub>3</sub>

**EPSO<sup>®</sup>Combitorp**  
13% MgO, 34% SO<sub>3</sub>, 4% Mn, 1% Zn

Magia de la naturaleza. La gama EPSO es la referencia Europea entre los abonos foliares con magnesio, azufre y micronutrientes. Sus características: son completamente solubles, inmediatamente disponibles para las plantas y aptos para todos los cultivos. Sus efectos:

- hojas amarillas recuperan su color verde
- favorece el desarrollo radicular y el crecimiento de la planta
- asegura suministro de nutrientes en los picos de demanda

Los abonos EPSO son ideales como foliares en cultivos extensivos, que miles de agricultores Europeos combinan con tratamientos fitosanitarios. Los abonos EPSO – son la solución económica para altos rendimientos.





### Eucalipto (*Eucalyptus* spp)

El eucalipto (**foto 4**) pertenece a la familia de las Mirtáceas. Existen más de 550 especies adaptadas a un amplio espectro edafoclimático. Tiene su origen en Australia pero ha sido introducido en los cinco continentes para plantaciones en turno corto destinadas, en principio, para productos maderables y pasta para papel.

Presenta porte arbóreo o arbustivo con un sistema radicular robusto y bien desarrollado con predominio de la red superficial. Numerosas especies presentan una cepa fuertemente engrosada, formando un lignoturbérculo, órgano para reserva de nutrientes y regeneración. Tiene hojas persistentes, lo que supone un inconveniente para su cultivo con fines energéticos, debido a la gran cantidad de nutrientes que se extraen con la cosecha, disminuyendo la calidad de la biomasa y siendo necesario reponer mayores cantidades de macroelementos.

Aunque puede crecer en suelos pobres en nutrientes como en nitrógeno y fósforo, manifiesta buena respuesta cuando éstos no son limitantes. En su crecimiento, tienen gran influencia la cantidad de precipitaciones y su distribución a lo largo del año, siendo sus condiciones ideales 900 mm de precipitación anual.

Se reproduce bien mediante semillas. No es adecuada la reproducción vegetativa y la implantación puede realizarse mediante planta enraizada de un año de edad o directamente con semilla pildorada. Presenta buena capacidad de rebrote pero es sensible a las heladas y a las condiciones microclimáticas.

Las mayores extensiones de eucaliptos en corta rotación fueron establecidas en Portugal para producción de pulpa, llegando a cultivar unas 350.000 ha para este fin (Barrio, 2007). La densidad de plantación fue de 1.100 plantas/ha y los turnos de corta de ocho a diez años. Las productividades con riego y fertilización pueden alcanzar las 20 t ms/ha y año, apreciándose un efecto muy marcado del clima y condiciones del suelo (Venendaal et al., 1997).

En España los mayores eucaliptares se encuentran en la Cornisa Cantábrica (*E. globulus* Labill) y en el suroeste de España (*E. camaldulensis* Dehnh) donde, en función de las técnicas selvícolas y la estación, se pueden obtener rendimientos del orden de 5-20 t ms/ha y año.



Foto 6. Robinia a densidad de 10.000 plantas/ha. CEDER-CIEMAT (Soria).

### Paulonia (*Paulownia* spp)

La paulonia (**foto 5**) pertenece a la familia de las Escrofulariáceas utilizándose cuatro especies con fines energéticos: *P. elongata* S., y. Hu, *P. fortunei* Hems l., *P. tomentosa* Steud., y *P. kawakamii* Ito. Estas especies son susceptibles de mejora a través de cruzamientos existiendo clones adecuados a las condiciones climáticas y edáficas españolas.

Es una planta frondosa caducifolia, de alto crecimiento, porte recto, con pocos nudos y, tiene su origen en China para la producción de madera. Es resistente a condiciones moderadas de sequía una vez desarrollada (uno o dos años), con alta capacidad de rebrote y rápido crecimiento después del corte y con capacidad de absorción de nitrógeno aceptando bien purines como fertilizante.

Se recomienda plantar directamente con raíz, realizándose la plantación en marzo-abril, fuera de la época de heladas, para evitar caídas de hojas aunque éstas vuelvan a brotar pasados unos siete días.

Puede alcanzar alturas de 20 m a los cuatro o cinco años. Requiere suelos bien drenados con textura franca y con nivel freático a más de 2-2,5 m. La pluviometría mínima requerida es de 500 mm y necesita riego al menos durante los dos primeros años.

Aún no se conoce su potencial producti-

vo en turno corto y alta densidad en España ya que, hasta el momento, se ha dedicado a la producción de madera. Rendimientos observados para una densidad de 1.600 plantas/ha han sido del orden de 20-30 t ms/ha y año, con una densidad de la madera de 290 kg/m<sup>3</sup> (Vicedex, 2007).

La humedad de la madera en el momento de la corta es del orden del 50-75% y en uno o dos meses al aire libre puede bajar la humedad a valores inferiores al 20% en función de las características climáticas de la zona.

### Robinia (*Robinia pseudoacacia* L.)

La robinia o falsa acacia (**foto 6**), pertenece a la familia de las Leguminosas y procede del sudeste de Norte América, de regiones con precipitaciones de 1.000-1.500 mm, pero es tolerante a la sequía y sobrevive con tan solo 400 mm. Tradicionalmente se ha utilizado para producción de madera para postes y pasta de papel, además de para otros usos tales como: control de la erosión, forraje, etc.

Presenta un sistema radicular penetrante, hojas caducas y crecimiento juvenil rápido considerándose una especie prometedora para usarla como cultivo energético por adaptarse a climas secos y suelos pobres y ácidos. Limita su desarrollo la humedad edáfica baja, la mala aireación del suelo y la imposibilidad

para desarrollar un sistema radicular profundo.

Se puede propagar vegetativamente por estaquilla tanto de tallo como de raíz, aunque lo más usado para el establecimiento de la plantación son plantones de un año. También es posible la siembra directa pero tiene el inconveniente de la fragilidad de las plántulas.

Es resistente a la mayoría de plagas y, como leguminosa que es, no necesita fertilización nitrogenada. En general, necesita menos cuidados que el chopo y el sauce.

Después de la corta puede rebrotar de cepa y de raíz y la humedad en el momento de la corta es muy baja en relación con otras especies. Hanover (1993), indica una humedad del 33% a la edad de doce años. Puede presentar alta concentración de nitrógeno, no deseable en cultivos energéticos.

### Plátano de paseo (*Platanus híbrida* Brot.)

El plátano pertenece a la familia de las Platanáceas, requiere suelos ligeros, fértiles y con cierta humedad por lo que prefiere lugares frescos en zonas de clima templado. Necesita riego pero no soporta frecuentes inundaciones ni agua estancada.

Se multiplica por esqueje y brota bien de cepa. Presenta bastante sensibilidad a cierta densidad de plantación. Una característica importante es su resistencia al ataque de insectos.

No existen datos para España sobre su productividad en alta densidad, si bien hay autores que cifran ésta entre 8-20 t ms/ha y año.

## Características de la biomasa para aplicaciones energéticas

Cuando se trata de producir calor y/o electricidad, la biomasa procedente de especies leñosas posee características químico-energéticas más adecuadas que la biomasa de especies herbáceas. No obstante, los valores pueden variar por algunos factores, tales como la especie, fertilización recibida, etc.

Valores medios de las características químicas más significativas de la biomasa de las especies leñosas en turno corto anteriormente comentadas, expresados en porcentaje sobre biomasa seca, son: cenizas 2-3%; nitrógeno <1%; azufre <0,1% y cloro <0,1%. En cuanto al contenido energético: poder calorífico superior (PCS) 19-20 MJ/kg de biomasa seca (hume-

dad 0%) y poder calorífico inferior (PCI) 17,5-18,5 MJ/kg de biomasa seca (humedad 0%).

## Conclusiones

A modo de conclusiones, respecto a este tipo de cultivos, cabe indicar que:

- ▶ Es de gran interés la búsqueda de nuevas especies y variedades y, utilizar selección genética, a fin de conseguir mayores producciones de biomasa y que se adapten a determinadas condiciones climáticas.
- ▶ Se deben plantear como alternativa a cultivos tradicionales y no solo en tierras de retirada como consecuencia de una política agraria.
- ▶ Es necesario el desarrollo de procedimientos y equipos para casos en que no es adecuada la utilización de maquinaria tradicional existente.
- ▶ Es necesario informar sobre el cultivo y concienciar debidamente al agricultor así como facilitar los trámites administrativos necesarios para su implantación.
- ▶ Existe la necesidad de regular la oferta y la demanda de biomasa producida, con la existencia de un mercado y una logística de suministro, como ocurre en el sector alimentario, sin interferir en éste.
- ▶ Se debe concienciar del impacto ambiental y social positivo, ya que favorecer la utilización del suelo con estos cultivos, evita la erosión y degradación, disminuye el riesgo de contaminación química al poder disminuir fitosanitarios y, además, al emplear especies perennes, se disminuyen pérdidas por escorrentía de agua y nutrientes. Por otra parte, se da continuidad al sector agrícola, así como, a las empresas relacionadas con el sector (de maquinaria, fertilizantes, fitosanitarios, etc.), con la correspondiente necesidad de mano de obra que esto conlleva.
- ▶ En las ocasiones que sea posible, se deben utilizar como filtros verdes al no producir alimentos, con el consiguiente ahorro de agua y nutrientes, contribuyendo además, a la mejora medioambiental.
- ▶ Será conveniente implantar el cultivo en zonas con una mínima pluviometría compatible con el desarrollo del mismo o posibilidad de riego barato ya que, en el caso de los cultivos con fines energéticos, ciertos niveles de riego pueden no resul-

tar aceptables, tanto desde el punto de vista del coste económico como desde el de optimización de los recursos.

En resumen, se puede decir que el futuro de estos cultivos dependerá de que se pueda producir biomasa de forma rentable en plantaciones extensivas, utilizando especies adecuadas y utilizando la tecnología necesaria. Su evolución estará en función del precio y seguridad del suministro de combustibles fósiles, del interés social por el medio ambiente y de la estimulación que tenga el agricultor e industrial, así como de las medidas políticas y económicas que existan. ●

## Bibliografía ▼

- ▶ BACHER, W. (1998). Poplar. In. Energy plant species. Their use and impact on environment and development. El Bassam, N James & James (Science Publishers) Ltd., London. Pp. 203-206.
- ▶ BARRIO M., (2007). La ingeniería forestal y la explotación de los montes de eucalipto. Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. EUIT de Mieres. <http://www.servspi1.sct.uniovi.es/cienciaviva/docs/Ingenieriaforestal.pdf>. Consulta: Noviembre 2007.
- ▶ CIRIA CIRIA M<sup>a</sup> P., (2009). "El chopo (*Populus* spp) como cultivo energético". Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. Hoja Divulgadora n° 2131. 32 pp.
- ▶ CHRISTERSSON, L. (2006). Biomass production of intensively grown poplars in the southernmost part of Sweden: Observations of characters, traits and growth potential. Biomass and Bioenergy 30, 497-508.
- ▶ HANOVER J.W., (1993). Black locust: An excellent fiber crop. J. Janick and J.E. Simon (eds), New crops. New York. Pp 432-435.
- ▶ IRIARTE CERDÁN, L., (2008) Caracterización del olmo de Siberia (*Ulmus pumila* L.) como cultivo energético. Tesis doctoral.
- ▶ VENENDAAL, R., JORGENSEN, U. y FOSTER, C.A., (1997). European energy crops: A synthesis. Biomass and Bioenergy, Vol. 13 N° 3 pp. 147-185.
- ▶ VICEDEX, (2007). La Paulownia como base de los cultivos energéticos. <http://www.vicedex.com/pdf/paulownia.pdf>. Consulta: Abril 2009.