

**MASTER EN ENRGÍAS RENOVABLES Y MERCADO
ENERGÉTICO 2007-2008**

MÓDULO: ENERGÍA DE LA BIOMASA Y BIOCARBURANTES

PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

**M^a Pilar Ciria Ciria
Dra Ingeniero Agrónomo
Investigadora del CIEMAT-CEDER
Soria**

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS	4
3. TIPOS DE CULTIVOS ENERGÉTICOS	4
3.1. Cultivos lignocelulósicos.	6
3.2. Cultivos oleaginosos	11
3.3. Cultivos alcoholígenos	11
4. TENDENCIAS FUTURAS.....	13
5. LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS Y EL PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES (PER) 2005-2010.....	14
6. BIBLIOGRAFIA.....	15

BIOMASA DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

M^a Pilar Ciria Ciria
Dra Ingeniera Agrónoma
Investigadora CIEMAT-CEDER
Soria

1. INTRODUCCIÓN

La situación del sector energético y la Política Agraria Común existente, hacen replantear los conceptos que se tienen de una agricultura extensiva tradicional debido a los grandes problemas que ésta presenta derivados de producciones excedentarias de alimentos. La dedicación de parte de la superficie agrícola a cultivos destinados a producir biomasa con fines energéticos podrían ser a nivel Europeo una buena alternativa para la agricultura actual, así como, para disminuir la dependencia energética del exterior.

La Comisión Europea en 1997 en su “libro Blanco sobre las Energías Renovables” destacó la importancia de contribuir a la obtención del 12 % de la energía consumida en el 2010 con biomasa producida (Comisión de las Comunidades Europeas, 1997), contemplando la obtención de 45 tep con cultivos energéticos (18 % con alcoholígenos y oleaginosos y 27 % con cultivos lignocelulósicos).

Así, existen fundamentalmente dos alternativas agroenergéticas, en función del producto final obtenido: la producción de biocarburantes sustitutivos de los carburantes convencionales y la producción directa de energía en centrales agroeléctricas (producción térmica y/o eléctrica con biomasa lignocelulósica).

En España, la superficie destinada a cultivos herbáceos es de unos 9 millones de hectáreas (un 17 % de la de la Unión Europea), de las que aproximadamente 1,3 millones son de retirada. Actualmente, los cultivos energéticos están prácticamente restringidos a las superficies de retirada obligatoria, quizás debido a la falta de competitividad con los cultivos destinados a la alimentación. En la Unión Europea solo un 15 % de la superficie disponible de barbecho de retirada se destina a usos no alimentarios siendo, un 92 % de estos, cultivos oleaginosos.

No cabe duda de los beneficios que implica la obtención de energía a partir de biomasa, disminuyendo la dependencia energética del exterior y mejorando el medio ambiente al sustituir combustibles fósiles por un combustible menos contaminante. Sí, además de esto, se produce biomasa en tierras agrícolas mediante los llamados cultivos energéticos, se contribuye al desarrollo rural garantizando la continuidad de la actividad en el sector agrícola y también se contribuye al mantenimiento de las industrias relacionadas con este sector, tales como de fertilizantes, semillas y maquinaria, con la correspondiente necesidad de mano de obra que esto conlleva.

Investigaciones a nivel internacional han estudiado las posibilidades de aprovechamiento energético de distintas especies que hasta el momento tenían otro o ningún fin productivo y su adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS

Las características mas relevantes que debe reunir un cultivo para considerarlo con buena aptitud para la producción de biomasa con fines energéticos cabe resumirlas en los siguientes puntos (Fernández, 1996):

- 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.
- Impacto ambiental durante el cultivo mejor a la situación anterior y fácil recuperación del suelo utilizado.
- 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 plantas 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.

No obstante, se pueden citar una serie de razones que impulsan a la implantación de cultivos energéticos y que les hace diferentes de los tradicionales, como son:

- Considerar producto toda la biomasa producida que sea económicamente recolectable.
- Ser valorados fundamentalmente por el contenido calórico del producto recolectado.
- Permitir variación en el marco de plantación y la época de recolección.
- Poder recuperar casi íntegramente en los procesos de transformación termoquímica de la biomasa los elementos minerales que ha exportado el cultivo.
- La existencia de plantas silvestres de elevadas producciones de biomasa adaptadas a zonas diversas ampliando el espectro de plantas susceptibles de ser cultivadas en cada zona.

3. TIPOS DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

En la tabla I se muestran numerosas especies relativas a cultivos susceptibles de utilizarse con fines energéticos en Europa. (Venendaal y otros, 1997).

Aunque, como puede verse, el número de especies puede ser considerable, en la práctica la posibilidad de elección se ve reducida debido principalmente a que solo unas cuantas se van a adaptar con buenos rendimientos a las condiciones edafoclimáticas que se poseen y a la disponibilidad de material vegetal y de información acerca del comportamiento de las especies en las distintas áreas de cultivo. Por otra parte, ninguna de ellas ha sido seleccionada para producción energética.

Tabla I: Especies relativas a cultivos susceptibles de utilizarlos con fines energéticos en Europa. Fuente: Venendaal y otros, 1997.

Nombre latino	Nombre común
<i>Brassica</i> spp.	Colza
<i>Eucalyptus</i> spp.	Eucalipto
<i>Helianthus annuus</i> .	Girasol
<i>Salix</i> spp.	Sauce
<i>Triticum aestivum</i> .	Trigo
<i>Secale cereale</i> .	Centeno
<i>Triticosecale</i> .	Triticale
<i>Hordeum vulgare</i> .	Cebada
<i>Beta vulgaris</i> .	Remolacha
<i>Phalaris arundinacea</i> .	Alpiste arundinaceo
<i>Populus</i> spp.	Chopo
<i>Cannabis sativa</i> .	Cáñamo
<i>Miscanthus</i> spp.	Miscanthus
<i>Hibiscus cannabiss</i> .	Kenaf
<i>Cynara cardunculus</i> .	Cardo
<i>Sorghum bicolor</i> .	Sorgo dulce
<i>Alnus</i> spp.	Aliso
<i>Arundo donax</i> .	Caña gigante
<i>Helianthus tuberosus</i> .	Pataca
<i>Camelia sativa</i> .	Camelia
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinia
<i>Bunias orientalis</i>	Bunier
<i>Reynouria japónica sacch</i> .	Garbanzón
<i>Agrostemma githago</i>	Neguilla común
<i>Spartium junceum</i>	Retama
<i>Solanum tuberosum</i>	Patata
<i>Spartina</i> spp	Esparto
<i>Panicum virgatum</i>	Panicum
<i>Acacia</i> spp., <i>Betula</i> spp	Acacia,
<i>Onopordum nervosum</i>	Cardo
<i>Nicotiana glauca</i>	Tabaco lampiño
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Chumbera
<i>Sinapis alba</i>	Mostaza
<i>Linum usitatissimum</i>	Lino
<i>Zea mays</i>	Maíz
<i>Phargmites australis</i>	Carrizo

Atendiendo al tipo de biomasa que se puede obtener, los cultivos energéticos se clasifican fundamentalmente en tres tipos:

- Cultivos lignocelulósicos, como productores de biocombustibles sólidos con fines térmicos y/o eléctricos o, la producción de biocarburantes de segunda generación.
- Cultivos oleaginosos, productores de aceite para transformar en biodiesel.
- Cultivos alcoholígenos, destinados a la producción de bioetanol mediante fermentación de la biomasa obtenida para sustituir total o parcialmente a las gasolinas.

3.1. Cultivos lignocelulósicos.

Su fin es la producción de biocombustibles sólidos con vista a obtener calor y/o electricidad o, la producción de biocarburantes de segunda generación para la obtención de bioetanol por vía enzimática o bioetanol o biohidrocarburos por termoconversión.

Dentro de los cultivos lignocelulósicos hay que diferenciar entre especies herbáceas y especies leñosas.

Especies herbáceas

Actualmente, en España, entre las especies herbáceas cabe citar la *Brassica carinata* A. Braun y el cardo, (*Cynara cardunculus* L.), como las más prometedoras a corto plazo. Esta idea se apoya en la investigación desarrollada durante numerosos años por diferentes grupos sobre los citados cultivos. No obstante, se citan otras como el *Arundo donax* L. o el *Miscanthus* spp. de los que se ha obtenido buenos resultados en otros países y que se podrían adaptar a la condiciones edafoclimáticas de algunas zonas

***Brassica carinata* A. Braun**

Brassica carinata pertenece a la familia de las Crucíferas. Es una especie anual de características similares a la colza (*Brassica napus*) pero actualmente, a diferencia de ésta, se considera por su producción de biomasa lignocelulósica y no por sus semillas. Se trata de una alotetraploide resultante del cruce de las especies diploides *B. Olerácea* y *B. Nigra*.

Esta especie fue inicialmente estudiada y mejorada en nuestro país, para la producción de aceite. A pesar de haberse logrado variedades híbridas más productoras que la colza, la introducción en el mercado alimentario del aceite de *B. carinata* es hasta el momento inviable debido a la presencia de ácido erúxico en el aceite de sus semillas y glucosinolatos en su harina desengrasada, lo que impide su comercialización para alimentación debido a la toxicidad de éstos. Consiguiendo líneas sin ácido erúxico se obtiene un aceite mejor pero con más del 20 % de ácido linolénico que le hace inestable a la oxidación. El ácido erúxico tiene propiedades lubricantes, lo cual podría utilizarse por determinadas industrias a fin mejorar o añadir ciertas características a sus productos (ejemplo, para materiales plásticos).

Algunos híbridos de *B. carinata* adquieren un desarrollo considerable de su parte aérea, por lo que la especie ha sido considerada de interés para la producción de biomasa lignocelulósica.

Se adapta bien a las prácticas agronómicas de la colza, de sobras conocidas en el medio agrario. Posee buenas características morfológicas y fisiológicas alcanzando alta productividad en climas secos. Su sistema radicular, más poderoso y agresivo que el de la colza puede extraer agua de capas profundas del suelo y su rápido desarrollo del estado de roseta le permite una buena captación de la radiación solar. Además, presenta también mayor resistencia o tolerancia que la colza a la mayoría de las enfermedades.

El inconveniente mas importante para el cultivo lo constituye la baja resistencia de la especie al frío en otoño si aún no ha alcanzado el estado de roseta y al frío tardío en primavera que causa grandes daños en las plantas abortando los frutos jóvenes y los escapos florales. Esto implica realizar siembras a finales de invierno en zonas frías y utilizar en ciertos casos variedades de ciclo corto lo que se puede traducir en un descenso de la producción.

La altura de la planta oscila entre 1,40 y 2 m. La disposición de las flores en el tallo forma un racimo más suelto que en la colza e igualmente tiende a ramificarse más que ésta, efectos que pueden provocar mayor rendimiento al mantener las hojas verdes durante la floración y con ello la actividad de la planta.

La producción anual de biomasa lignocelulósica se puede encontrar entre 5 y 15 t m.s./ha dependiendo principalmente de la variedad y de las condiciones climáticas de la zona de cultivo y recolectando toda la planta en conjunto antes de la maduración de las semillas. El poder calorífico superior de esta biomasa es del orden de 18,5 MJ/kg de materia seca.

Puesto que en este caso, la siega, que se hace a nivel de suelo, se realiza en verde, es necesario dejar secar en campo (henificar) antes del empacado. Si se deja madurar y la recolección se hace por separado, además de biomasa lignocelulósica con bajo contenido en humedad que se podría empacar directamente, se puede obtener de 1,5 a 3 t/ha de semilla con la ventaja frente a la colza de tener silicuas no dehiscentes disminuyendo enormemente las pérdidas de desgrane por retrasos en la recolección o por agentes climáticos adversos (tormenta, viento, etc.). En ambos casos, la recolección se realiza entre junio y agosto en función de la climatología de la zona de cultivo. Su cultivo se adapta a zonas de secano típicamente destinadas a cereales de invierno y todas las operaciones de cultivo necesarias se pueden llevar a cabo con maquinaria convencional utilizada en estas zonas.

Desde 1996 el cultivo de *Brassica carinata* con fines energéticos ha sido ensayado en diversas zonas de Europa (España, Italia Grecia...), para determinar su producción, tanto de biomasa como de semillas. Se estudian las posibilidades de utilizar el cultivo para la producción de electricidad, a partir de la planta entera. Actualmente se cultiva a escala de demostración en explotaciones reales de diferentes provincias (Soria, Navarra, etc..) en el marco de un proyecto nacional coordinado por el CIEMAT.

***Cynara cardunculus* L.**

El cardo (*Cynara cardunculus* L.) es una especie perteneciente a la familia de las Compuestas. Se trata de una especie herbácea, perenne, con un ciclo anual de producción de biomasa aérea y con buena adaptación a condiciones de clima mediterráneo con veranos secos y calurosos.

El cardo posee ciertas condiciones fisiológicas, como es un sistema radicular profundo, que le permiten buen desarrollo aún en veranos secos. En años con pluviometría adecuada (de unos 500 mm) puede alcanzar producciones de biomasa de entre 15-25 t m.s./ha en condiciones de secano (Fernández, 2003), si el cultivo está ya establecido, con un poder calorífico superior de unos 17 MJ/kg de materia seca. No obstante, es interesante que la pluviometría durante los meses de otoño, invierno y primavera no sea inferior a 450 mm, ya que de no ser así disminuye la producción de forma considerable.

Tolera mal los encharcamientos y requiere suelos ligeros y profundos, de naturaleza caliza y con capacidad de retener el agua de otoño, invierno y primavera en la zona de subsuelo (1-5 m).

Además de biomasa lignocelulósica, produce semillas (1,5-2 t m.s./ha) con un contenido en aceite del 25 %. Esta semilla también podría utilizarse para obtención de biodiesel.

El ciclo vegetativo del cardo se realiza en dos etapas: una primera de formación de roseta y una segunda de formación de escapo floral.

Cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables, la germinación de la semilla puede ser en otoño formando una roseta basal de hojas que se va desarrollando hasta la primavera a la vez que la raíz va acumulando los azúcares producidos en las hojas. Tiene un sistema radicular pivotante profundo que puede alcanzar varios metros (superior a 4 metros al final del primer ciclo de crecimiento) y diámetro similar a la base del tallo del que sale directamente (20-30 cm después de varios años de producción). En primavera, (mediados o finales) sale un tallo central, pudiendo alcanzar alturas superiores a 2,5 m después del primer ciclo. En el extremo del tallo principal se desarrolla una inflorescencia con uno o varios capítulos.

La planta se seca a finales de verano, quedando vivas las raíces y varias yemas de la base del tallo. Estas yemas brotarán a finales de verano o principio de otoño aprovechando las reservas acumuladas en la raíz, originándose una nueva roseta que dará lugar a un nuevo escapo floral en primavera del año siguiente y que madurará y se secará en verano. Este ciclo se repite un número indeterminado de años.

Las plántulas de *Cynara cardunculus* son bastante sensibles a las heladas, aumentando considerablemente la resistencia al frío cuando ha desarrollado varias hojas y se encuentra en estado de roseta. Cuando la climatología dada en otoño no permita la germinación de las semillas, se realizará siembra de primavera, no llegando en este caso a producir semillas el primer verano, pasándolo en estado de roseta y llegando a completar el ciclo el verano siguiente.

La recolección se realiza a finales de verano (agosto-septiembre) si se siega la biomasa seca, empacándola directamente. Se puede adelantar la época de siega (julio-agosto) si se realiza esta operación en verde una vez que los capítulos estén desarrollados y dejarla secar en campo antes de empacar.

Estudios sobre el cultivo de cardo para biomasa en condiciones de secano, se han realizado en diversos países del área mediterránea en el marco de un proyecto de investigación coordinado por la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIA), pionera en este tema en España, y financiado por la Unión Europea. Actualmente, experiencias con plantaciones establecidas desde hace más de 10 años, se continúan en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid de las cuales se deduce la buena respuesta del cardo durante un número indeterminado de años (Fernández, 2003).

***Arundo donax* L.**

El *Arundo donax* L. (caña), pertenece a la familia de las Gramíneas. Se trata de una especie perenne, bien adaptada al sur de Europa y a otros países mediterráneos, principalmente de climas cálidos.

Presenta buena adaptación a diversos tipos de suelo y su implantación se efectúa por rizoma o estaquilla realizándose la cosecha en otoño e invierno.

Se considera una de las especies más productivas con posibilidad de producir de 20 a 25 t m.s./ha.año y la de mayor altura en zonas frías solo superada por el bambú.

Además de para su uso energético se puede utilizar para pulpa y para construcción, realizándose la recolección, en este último caso, cada 2 años.

No se conocen en España experiencias a escala demostración.

***Miscanthus* spp**

El *Miscanthus* spp pertenece a la familia de las Poáceas. Se trata de una especie perenne inicialmente introducida en Europa con fines ornamentales.

Presenta buena adaptación a distinta altitud pero tiene la necesidad de riegos frecuentes, lo que hace que no sea viable económicamente en tierras de secano.

Su implantación se realiza por rizoma, alcanza una altura de 2-4 metros y su posibilidad de producción está entre 7-30 t m.s./ha.año.

Al igual que pasa con la caña, no se han realizado experiencias de demostración en España.

Especies leñosas

Tradicionalmente las especies forestales han seguido un sistema de explotación muy distinto a las especies agrícolas ya que sus características y tipo de aprovechamiento así lo requerían. La posibilidad de comercializar madera de pequeñas dimensiones con destino a la producción de energía o como materia prima para la industria de trituración con destino a pasta de papel o tablero de partículas y fibra, lleva a considerar la utilización de tierras agrícolas para cultivar especies forestales de crecimiento rápido en turno corto y alta densidad de plantación.

Los cultivos leñosos para obtener biomasa de pequeñas dimensiones, 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) cumplen estos requisitos.

En la actualidad los mas conocidos (dado que se vienen estudiando desde años) y por tanto los mas considerados, son el chopo (*Populus* spp), el sauce (*Salix* spp) y el eucalipto (*Eucalyptus* spp).

En este contexto, la Comisión Internacional del Álamo de la FAO (AFOCEL,1982), propuso el siguiente tipo ideal de material susceptible de utilización para los fines citados:

- Crecimiento juvenil rápido
- Elevada y constante producción de brotes
- Inmunidad o al menos resistencia frente a enfermedades foliares
- Buena cicatrización de los cortes de explotación anual
- Poco deterioro del tocón
- Respuesta a la mejora de las condiciones de crecimiento
- Bajo nivel de ataques de insectos plaga
- Capacidad de crecer en plantaciones densas
- Capacidad de utilización de todo el periodo vegetativo
- Abundante follaje

- Alto contenido en energía

El manejo de estos cultivos difiere del tradicional, asemejándose más al cultivo en vivero ya que se pretende obtener la mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie y tiempo. La cosecha se realiza en turnos de corta no superiores a 5 años y se utilizan marcos pequeños, con espaciamientos incluso inferiores a 1 m, para conseguir densidades superiores a 10000 plantas/ha (en contraste con lo que ocurre con las plantaciones forestales tradicionales en las que, por ejemplo en el caso del chopo, las densidades habituales son del orden de 300-400 árboles/ha y el corte a 12-15 años).

No cabe duda de que en plantaciones en turno corto se da una serie de ventajas e inconvenientes respecto a la tradicional. Las ventajas pueden ser los menores costes de plantación (plantación de estaquillas), la rápida recuperación de la inversión inicial, tener una nueva plantación tras cada corta y ser más fácilmente mecanizable que las plantaciones forestales tradicionales. Como inconveniente puede citarse la integración con industrias capaces de consumir madera de pequeñas dimensiones, como pueden ser las empresas energéticas.

El elevado número de plantas por hectárea obliga, para no disparar los costes, a utilizar un material vegetal de base barato y fácilmente manejable. La implantación puede hacerse en el comienzo del otoño o al final del invierno-principios de la primavera, dependiendo en cada caso del tipo de material y de las condiciones climáticas de la zona.

Si la planta se reproduce con facilidad de forma vegetativa, la forma más adecuada para la implantación del cultivo parece ser la utilización de estaquillas. Este tipo de material se caracteriza por su homogeneidad (todas las plantas son genéticamente idénticas a la planta madre de la cual proceden) y su facilidad de manejo, aunque necesita unas buenas condiciones sobre todo en lo relativo a la humedad del suelo para que la implantación tenga éxito.

La producción de estaquilla se realiza a partir de plantas madres cultivadas en vivero o de las varas obtenidas el primer año de la plantación tras el recepe. El recepe es un procedimiento que consiste en cortar los tallos a ras del suelo después del primer periodo vegetativo. 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.

Cuando no es adecuada la reproducción vegetativa, como ocurre en el caso del eucalipto, la implantación puede realizarse mediante planta enraizada de un año de edad o directamente con semilla pildorada.

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 el riego puede no resultar aceptable, tanto desde el punto de vista del coste económico como desde el de optimización de los recursos.

En España existen zonas de gran tradición de cultivo de chopo, y su producción media de biomasa en condiciones de turno corto y alta densidad puede superar las 15 t m.s./ha dependiendo del clon utilizado densidad y turno elegido. El poder calorífico superior está próximo a 20 MJ/kg de materia seca.

La humedad de la madera en la época de cosecha es de aproximadamente el 50 %, por lo que puede ser necesario un periodo de secado previo a su utilización; la disminución de la humedad a lo largo del periodo de almacenamiento hace que se incremente el valor energético del combustible, pero, por otra parte, se producen pérdidas de materia seca debido a la degradación de la madera por parte de los microorganismos. Esto induce a la necesidad de un almacenamiento cuidadoso y controlado.

Al final del periodo de vida de la plantación, hay que prever el destocoado para dejar la tierra igual que antes de la plantación.

Desde 1986, en el CIEMAT se estudia el comportamiento del chopo en turno corto y alta densidad, en condiciones de clima continental extremo en la provincia de Soria.

Otros cultivos leñosos con los que actualmente se empieza a investigar en España, son la paulownia y el olmo de siberia.

3.2. Cultivos oleaginosos

En este grupo de cultivos se incluyen los productores de aceite para su transformación en biodiesel.

Los cultivo oleaginoso más considerado en el sur de Europa como productor de aceite para su transformación en biodiesel son el girasol (*Helianthus annus L.*) y la colza (*Brassica napus L.*).

El girasol forma parte de la familia de las Compuestas y la colza de la familia de las Crucíferas. Ambos cultivos vienen siendo tradicionales en el medio agrario desde hace años como productores de semillas por su contenido en aceite y su uso en alimentación, por lo que no se cree necesario describir ninguna práctica agrícola de los mismos.

La época de siembra y recolección varía dependiendo de las condiciones agroclimáticas ya que para germinar necesita humedad y temperatura.

La producción media de semilla de girasol es del orden de 1000 kg/ha con un 44 % de aceite y la de colza de unos 2000 kg/ha con un contenido en aceite de un 40%

Para fabricar 1 litro de biodiesel se gasta 1 litro de aceite y 0,087 l de metanol (Fernández, 1998), por lo que el precio del aceite va a influir plenamente en el coste de producción del biodiesel. En este proceso se obtiene glicerina cuya venta puede ayudar a rentabilizar el proceso.

En este campo interesa la búsqueda de otros cultivos a fin de obtener aceite a mejor precio así como utilizar los aceites vegetales sin esterificar para poder hacer más competitiva la fabricación de biodiesel.

3.3. Cultivos alcoholígenos

Los cultivos alcoholígenos van destinados a la producción de bioetanol por fermentación de la biomasa obtenida.

En este grupo se incluyen los que producen biomasa de tipo azucarado (azúcares solubles como glucosa, fructosa y sacarosa) y los que producen biomasa de tipo amiláceo (con almidón o inulina).

A partir de 1 kg de azúcar se obtienen en la práctica 472 g de etanol, (Fernández, 1998).

Entre los cultivos a considerar en este grupo están la patata y el sorgo azucarero.

Helianthus tuberosus L.

Helianthus tuberosus L (patata), pertenece a la familia de las compuestas. Su origen es americano y fue introducida en España en el siglo XVII destinándose la producción a la alimentación humana y animal hasta que fue desplazada de tales fines por la patata.

Es una planta herbácea, con tallos robustos que puede llegar a alcanzar alturas superiores a los tres metros y con abundante cantidad de tubérculos. En buenas condiciones y en zonas de fuerte insolación se pueden alcanzar de 70 a 80 toneladas de tubérculos por hectárea y entre 8 y 10 t m.s./ha de biomasa lignocelulósica de sus tallos.

La siembra se realiza mediante tubérculos a principios de primavera (abril) y es necesario realizar varios riegos durante el periodo estival. Termina su ciclo en otoño. Es una planta rústica y sus tubérculos resisten bien bajas temperaturas (hasta -15°), siendo el suelo, durante la época de invierno, un sitio ideal para su conservación ya que al aire sufren rápidamente desecación.

Los tubérculos tienen un 17-18 % de hidratos de carbono fácilmente hidrolizables (inulina principalmente, 80 % del peso seco). El jugo azucarado que se obtiene por hidrólisis de sus tubérculos contiene 70-80 % de fructosa y 15-25 % de glucosa.

En cuanto a la producción de etanol, cada 12 kg de tubérculo se obtiene un litro de etanol (5000-6000 l/ha). La producción no despreciable de biomasa de los tallos puede aportar calor al proceso de fermentación.

EL desarrollo de este cultivo ha sido ampliamente estudiado en distintas zonas de España por parte de la ETSIA de Madrid (UPM). El CIEMAT realizó ensayos durante varias campañas en la provincia de Soria.

Sorghum bicolor L.

El *Sorghum bicolor L* (sorgo azucarero), pertenece a la familia de las Gramíneas pero con un ciclo de desarrollo mayor, lo que le favorece para poder acumular gran cantidad de azúcares en su tallo llegando a ser hasta del 40 % del peso seco del mismo (sacarosa 25-30 % sobre peso seco)

Este cultivo presenta menor resistencia al frío que los anteriores por lo que su área de cultivo está limitada a zonas de clima mediterráneo.

La época de cultivo es de mayo a octubre, no llegando a florecer en zonas con fríos tempranos de otoño y necesita riego en la época estival. Esto lo hace recomendable para zonas cálidas de

regadío donde se pueden alcanzar producciones de mas de 30 t m.s/ha. (10-14 toneladas de azucar/ha).

Su aplicación principal es la producción de etanol, pudiéndose superar los 4000 litros/ha. El bagazo que se obtiene podría utilizarse en producir energía para el proceso de obtencion del etanol.

El inconveniente que presenta la utilización del sorgo dulce es la facilidad con que se degradan los azúcares, sobre todo la sacarosa, lo que hace preciso realizar la cosecha y el procesado en muy corto periodo de tiempo, hecho que encarece el proceso.

Otros cultivos (cereales)

Como cultivos alcoholígenos se debe considerar también cultivos tradicionales en la agricultura, como son los cereales de invierno y verano (amiláceos), tales como el trigo (*Triticum aestivum*), la cebada (*Hordeum vulgare* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) y, la remolacha (*Beta vulgaris* L.) que actualmente presentan problemas de producción excedentaria de alimentos y cuya producción puede destinarse a la obtención de alcohol.

Para producir un litro de etanol de estas biomásas se necesitan unos 3 kg de cereal o 10 kg de raíz de remolacha.

4. TENDENCIAS FUTURAS

Con vistas a llevar una continuidad en la producción de biomasa con fines energéticos es necesario tener presente que:

- Ninguno de los cultivos anteriormente mencionados ha sido seleccionado por su producción de biomasa. En este contexto sería interesante la búsqueda de nuevas especies y variedades utilizando selección genética en dirección de conseguir mayores producciones de biomasa.
- Es necesario el desarrollo de procedimientos y equipos para casos en que no es adecuada la utilización de maquinaria existente.
- Se deben plantear como alternativa a cultivos de cereal y no solo en tierras de retirada obligatoria dado la poca estabilidad de esta superficie.
- El favorecer la realización de cultivos energéticos evita la erosión y degradación del suelo derivado del no cultivo de las tierras de labor, y disminuye el riesgo de contaminación química al poder disminuir fitosanitarios.
- Se pueden utilizar como filtros verdes al no producir alimentos.
- Con cultivos perennes se disminuye las pérdidas por escorrentía de nitrógeno y agua del suelo.
- Se crea nuevo hábitat para la fauna salvaje.
- Se da continuidad al sector agrícola al evitar abandonar definitivamente superficie, hasta ahora, productora de alimentos excedentarios, dedicándola a producir energía.

En resumen, se puede decir que el futuro de la agroenergética 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.

Actualmente, el CIEMAT coordina un proyecto sobre cultivos energéticos a nivel nacional (PSE-cultivos) con parcelas experimentales y de demostración en diferentes Comunidades Autónomas, utilizando cultivos lignocelulósicos herbáceos y leñosos, tales como *Brassica* sp, cardo, sorgo, chopo, paulownia y cereales.

5. LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS Y EL PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES (PER) 2005-2010.

Los objetivos generales del Plan de Fomento 2000-2010 y el Plan de Energías Renovables 2005-2010 ya se han comentado en capítulos anteriores. Respecto a lo que a cultivos energéticos se refiere, el objetivo energético propuesto es incrementar la energía primaria en 1.908.300 tep con este sector durante el periodo 2005-2010.

En la tabla II, se muestra la distribución por Comunidades Autónomas (IDAE, 2005). Como se puede observar la mayor contribución corresponde a la Comunidad de Castilla y León con un 28%, seguida de Castilla-La Mancha con un 23%.

Para poder llevar a efecto lo propuesto, en el PER 2005-2010 se contemplan ayudas a la adquisición de maquinaria agrícola para recogida y tratamiento del recurso de biomasa. Igualmente se citan primas a la producción de electricidad con renovables, en función de los distintos sectores considerados, con referencia a 2005 y a las propuestas para poder cumplir objetivos. Para el caso de cultivos energéticos se considera el tamaño de la planta. Para plantas menores o iguales a 15 MW, la cantidad propuesta es de 5,8643 c€/kWh, el doble que la prima en 2005 y, para plantas mayores de 15 MW y menores e iguales a 50 MW la prima es de 4,3982, 1,5 veces la existente en 2005.

Tabla II: Distribución por Comunidades Autónomas de los objetivos energéticos para el periodo 2005-2010 en términos de energía primaria.

CCAA	Cultivos Energéticos
Andalucía	264.158
Aragón	304.391
Asturias	0
Baleares	0
Canarias	0
Cantabria	0
Castilla y León	538.624
C-La Mancha	447.496
Cataluña	50.985
Extremadura	151.557
Galicia	0
Madrid	39.856
Murcia	57.391
Navarra	53.843
La Rioja	0
C. Valenciana	0
País Vasco	0
TOTAL	1.908.300

6. BIBLIOGRAFIA

AFOCEL (Association Forêt-Cellulose), 1982. Culture de la biomasa ligneuse. Taillis a courte rotation. AFOCEL. París.

ALONSO, L.C., (1991). “Brassica carinata”. Monografía. Koipesol, Sevilla

AYALA, R. y MARTINEZ, F., (1991). “Cultivo de chopos en vivero”. Monografías Universitarias: *El cultivo del chopo*. Universidad Internacional Alfonso VIII. Soria, pp. 51-63.

CIRIA CIRIA M^a P., (1998). “Efecto del turno de corta y de la densidad de plantación sobre la productividad de diversos clones de chopo en condiciones de corta rotación”. *Tesis Doctoral*. UPM.

CIRIA CIRIA M^a P., (2000). “Nuevos métodos de explotación para especies forestales” en Libro: *Gestión ambiental de sistemas agroforestales*. Ed. Ayuntamiento de El Burgo de Osma (Soria). Pp43-63

COMISION DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS, (1997). “Energía para el futuro: Fuentes de energías renovables”. Oficina de publicaciones oficiales de las comunidades europeas. Luxemburgo. COM(97) 599 final.

IDAE, (1999). “Plan de fomento de las Energías Renovables en España”. Ed. IDEA, serie “Difusión IDAE”. Madrid.

IDAE, (2005). “Plan de Energías Renovables en España 2005-2010”. Ed. IDAE, Madrid.

El Bassam, N. (1998). Energy plant species. Their use and impact on environment and development. James & James (Science Publishers) Ltd., London.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ J., (1996). “Cultivos de biomasa no convencionales” en Libro: *La biomasa fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Ed. CIEMAT. Pp 2.1.0-2.1.24.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ J., (2003). “Biomasa de cultivos energéticos. El cardo como cultivo energético”. Curso: *Situación actual y futuro de la biomasa*. CIEMAT, Instituto de Estudios de la Energía, Madrid.

LÓPEZ ARIAS, M., (1982). “Producción de biomasa mediante cultivos forestales” en Libro: *Fuentes de biomasa con fines energéticos*. Instituto de la Ingeniería de España. Comité de Energía, pp. 91-104.

VENENDAAL, R., JORGENSEN, U. y FOSTER, C.A., (1997). “European energy crops: A synthesis”. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 13 N° 3 pp. 147-185.