

Agencia Extremeña de la Energía



Acciones Gratuitas Cofinanciadas por el FSE



Los cultivos energéticos en Extremadura

Agencia Extremeña de la Energía



Agencia Extremeña de la Energía

www.formatebio.es

www.agenex.org

info@formatebio.es

Teléfonos y Direcciones:

Rnd. De San Francisco	Avda. Antonio Masa Campos
Nº 3, 1ª Planta	Nº 26, Bajo
10005 Cáceres	06011 Badajoz
Telf.: +34 927 625 794	Telf.: +34 924 26 21 61
Fax: +34 927 625 795	Fax: +34 924 25 84 21
agenex@dip-caceres.es	agenex@dip-badajoz.es

PRÓLOGO

Desde la Agencia Extremeña de la Energía, dentro del Programa Emplea Verde 2007-2013 y en coordinación con La Fundación Biodiversidad, se lanza el Proyecto FORMATE-BIO destinado a dar formación a trabajadores de Pymes y trabajadores agrarios que se encuentran involucrados en la cadena de valor de la biomasa. El proyecto tiene como objetivo la formación específica sobre cada una de sus potenciales áreas de mejora dentro de las empresas en las que se encuentran.

Dentro de la producción de energías con nuevas fuentes, algunas son ya suficientemente conocidas y otras no tanto. De ahí la labor por parte de la Agencia Extremeña de la Energía de dar a conocer qué es la biomasa y su gran potencial como fuente de energía en la región.

La biomasa, entendida como el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma, es un tipo de energía con amplio espectro de posibles materias primas.

El presente trabajo pretende ser un libro de consulta para todo aquel que tenga inquietudes sobre las distintas opciones dentro de la biomasa.

AGENCIA EXTREMEÑA DE LA ENERGÍA



los cult
energía

ATIVOS
éticos

ÍNDICE

■	1. LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS, CONCEPTOS Y GENERALIDADES	6
■	1.1 Cultivos energéticos, definiciones y conceptos	6
■	1.2 Ventajas e inconvenientes de los cultivos energéticos	6
■	1.3 Los cultivos energéticos según su aprovechamiento final:	8
■	A) Cultivos oleaginosos para biodiésel	9
■	B) Cultivos alcoholígenos para bioetanol	9
■	C) Cultivos leñosos, para biomasa sólida	10
■	2. CULTIVOS ENERGÉTICOS EN ESPAÑA	11
■	2.1 Cultivos para producción de biodiesel	11
■	2.2 Cultivos para producción de bioetanol	13
■	2.3 Biomasa sólida	14
■	A) Paulownia	15
■	B) Chopo	19
■	C) Eucalipto	24
■	D) Comparativas de estudios históricos	26
■	3. ASPECTOS QUE INFLUYEN EN UN PROYECTO DE CULTIVOS LEÑOSOS	28
■	A) Rendimiento del cultivo	28
■	B) Costes de explotación e implantación	28
■	C) Contrato y precio de venta	28
■	D) Tipos de almacenamiento y recolección	30
■	E) Rentabilidad del transporte	30
■	4. PROYECTOS Y EMPRESAS RELACIONADOS CON CULTIVOS ENERGÉTICOS EN EXTREMADURA	31
■	5. REFERENCIAS	32

1. Los cultivos energéticos, conceptos y generalidades.

1.1 Cultivos energéticos, definiciones y conceptos.

Se definen como cultivos energéticos aquellas especies vegetales de crecimiento rápido que se plantan con el objetivo de su recolección para obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles.

Las características fundamentales que identifican a un cultivo energético son:

- Durante todo su proceso de desarrollo, son similares a cualquier otro cultivo, por lo que constituyen un producto agrario, con sus requerimientos y condiciones de explotación.
- El cultivo es realizado por agricultores, requiriendo maquinaria y técnicas propias de labores agrícolas ya conocidas.
- El cultivo y la manipulación deben ser compatibles con las características de la zona de producción.
- Suelen ser cultivos de crecimiento rápido y rotaciones cortas, con altos niveles de productividad en biomasa y bajos costes de producción.
- Deben ser rentables, económicamente hablando, para el agricultor.
- Presentan balance energético positivo. Es decir que se extrae de ellos más energía de la que se invierte en el cultivo y su puesta en planta.
- No contribuyen a degradar el medio ambiente y permiten la fácil recuperación de la tierra, para implantar posteriormente otros cultivos en algunos casos.

1.2 Ventajas e inconvenientes de los cultivos energéticos.

Ventajas medioambientales
Balance neutro en emisiones de CO ₂ . La combustión de biomasa produce agua y CO ₂ , pero la cantidad emitida de este gas, fue captada previamente por las plantas durante su crecimiento.
No produce emisiones sulfuradas o nitrogenadas, ni apenas partículas sólidas.
Obtención de productos biodegradables.

Ventajas socioeconómicas

Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

Es un combustible que asegura un suministro estable y generalmente concentrado en la zona de uso, proveyendo estabilidad a los consumidores.

Requiere numerosa mano de obra agraria, favoreciendo el desarrollo y la fijación de la población rural.

Supone una oportunidad para el sector agrícola, ya que permite la reutilización de tierras de retirada o la diversificación hacia nuevos cultivos, presentando una alternativa frente al desacoplamiento de la PAC.

Ventajas para los cultivadores.

Rentabilidad sostenible: el agricultor obtiene un contrato a largo plazo y a precio cierto, con lo que desaparece una de las grandes incertidumbres del mundo agrario.

Los agricultores no necesitan ninguna reconversión de sus hábitos de trabajo, puesto que ya poseen los conocimientos y tecnologías necesarias para la puesta en marcha de los cultivos energéticos.

Los cultivos leñosos pueden plantearse como una fuente de ingreso paralela al cultivo tradicional de grano, simultaneando el cultivo de especies como el chopo o paulonia con el trigo, cebada, etc.

Inconvenientes

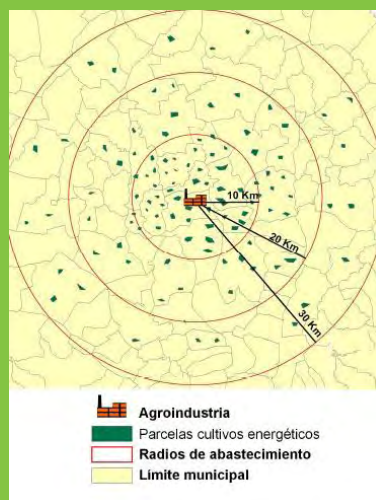
La localización del cultivo: para que el cultivo sea rentable, la localización debe ser próxima a la planta consumidora, a distancias menores de 50 Km. a fin de reducir los costes de transporte, y el modo de transporte utilizado es carretera.

La compatibilidad terreno-cultivo: cada especie tiene unos requerimientos de tipología de terreno y condiciones climáticas. Para que el margen económico neto para el agricultor sea atractivo se requieren especies que permitan obtener a bajo coste del orden de 20 ton.m.s/ha*.

**ton.m.s. = Tonelada de materia seca, con menos de un 30% de humedad.*

El almacenamiento: al ser cultivos estacionales requieren almacenamiento para un suministro regular a la planta. El almacenamiento supone riesgo de ignición espontánea de la materia o del deterioro de la calidad de la biomasa.

Posible especulación e influencia en el precio de alimentos: existe un documento elaborado por la APPA, denominado Biocarburantes y Desarrollo Sostenible, Mitos y Realidades, de Septiembre 2007, en el que se debate sobre la realidad de esta y otras afirmaciones.



- Radio de acción de agroindustrias (IDAE)

1.3 Los cultivos energéticos según su aprovechamiento final

Aunque el presente documento se centra en la producción de biomasa leñosa, como materia prima para la preparación de combustibles más elaborados o bien para su utilización directa como combustible, también van a mencionarse otros tipos de cultivos en explotación en España.

A continuación se definen los principales cultivos energéticos, agrupándolos según el tipo de combustible que se puede obtener de ellos.

A) Cultivos oleaginosos para biodiésel.



- Muestra de girasol y de biodiesel (UMF)



- Plantación de colza para biodiesel (Neiker)

El biodiésel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de la transformación de aceites vegetales o grasas animales.

Las oleaginosas son plantas de cuya semilla o fruto puede extraerse aceite, en algunos casos comestible y en otros para uso industrial, como la fabricación de biodiesel.

A partir de 1.000 kg de aceite, 156 kg de metanol y 9,2 kg de potasa se obtienen 965 kg de biodiésel, 178 kg de glicerina y 23 kg de metanol.

Existen aproximadamente 300 especies de oleaginosas, aunque sólo algunas de ellas producen la suficiente cantidad de aceite por hectárea como para rentabilizar su explotación. Actualmente, la colza destaca como una planta con alta producción y buena adaptación a climas fríos, aunque en esta guía se hará referencia también a especies de menor implantación o de nueva incorporación.

B) Cultivos alcoholígenos para bioetanol.



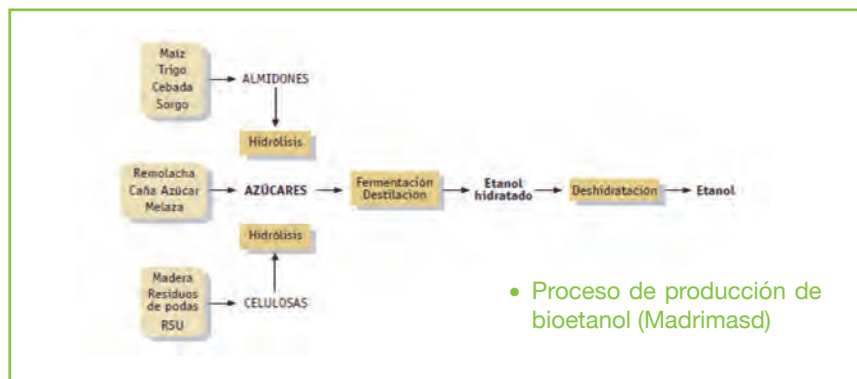
- El maíz como cultivo para bioetanol.

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar o biomasa.

El etanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones del 5, el 10%, e incluso el 85%, E5, E10 y E85 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores actuales.

Aproximadamente, se puede obtener un litro de etanol a partir de 2,5-3 kg de granos de cereal, de 10 kg de raíces de remolacha o de 15-20 kg de caña de azúcar. Mediante el cultivo de una hectárea

de regadío de remolacha se pueden producir 6.000 litros de etanol, mientras que si se cultiva maíz o sorgo dulce se obtienen 3.700 l o si el cultivo es la caña de azúcar se producen hasta 10.000 l. Si el cultivo es en secano, una hectárea de trigo produciría 880 l, mientras que el sorgo dulce produciría 700 l (Proyecto ECAS 2007).



C) Cultivos leñosos, para biomasa sólida.

Como cultivos leñosos denominamos materiales lignocelulósicos, procedentes del sector forestal, agrícola o de industrias transformadoras y que son destinados a la generación de energía térmica o eléctrica.

Las formas en las que actualmente se comercializan estos cultivos leñosos son:



• Almacenamiento de cultivos leñosos

- La **astilla** permite una mayor movilidad en el transporte, ya que su volumen es menor que el de la materia prima en bruto, aunque posee mayor humedad y volumen superior a otros productos.

- El **pellet**, es un biocombustible que se caracteriza por ser altamente densificado (1.000-1.200 kg/m³) y de pequeño tamaño (6-12 mm de diámetro y longitudes de 10-30 mm).

- La **briqueta** es un material lignocelulósico compactado. Se presenta como un cilindro

de 5 a 13 cm de diámetro y una longitud de entre 5 y 30 cm. La densidad es elevada y varía entre 800 y 1.300 kg/m³ en función del proceso de producción realizado.

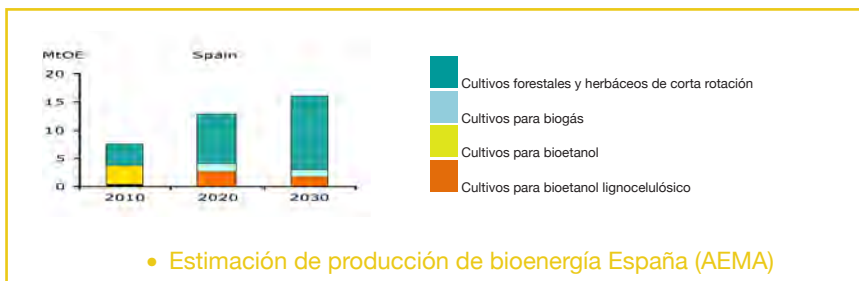
- El **carbón vegetal** procede de la combustión incompleta de restos vegetales.

2. Cultivos energéticos en España.

En este apartado se describen las especies más extendidas como cultivos energéticos, separándolos en los utilizados para la producción de biocombustibles y los de biomasa sólida.

Hay que señalar que esta guía se enfoca principalmente a cultivos leñosos y su uso como biomasa sólida. No obstante, los cultivos leñosos también tienen aplicaciones para la obtención de biocarburantes.

La gráfica adjunta muestra las previsiones 2010-2030 de la Agencia Europea del Medio Ambiente sobre producción de bioenergía para España.



Como se observa, el mayor crecimiento se prevé para cultivos de biomasa sólida, tanto leñosos como herbáceos, para su uso en la generación de energía térmica o eléctrica.

2.1 Cultivos para producción de biodiésel.

Los cultivos tradicionales para la obtención de biodiésel han sido la colza o el girasol, aunque existen nuevos cultivos que se están implantando rápidamente.

Cultivos para la producción de biodiesel	
Convencional	Colza Girasol Soja Palma
Alternativos	Jatrofa Cardo Ricino Brassica carinata

- Cultivos tradicionales y alternativos para biodiésel (Proyecto Ecas 2007)



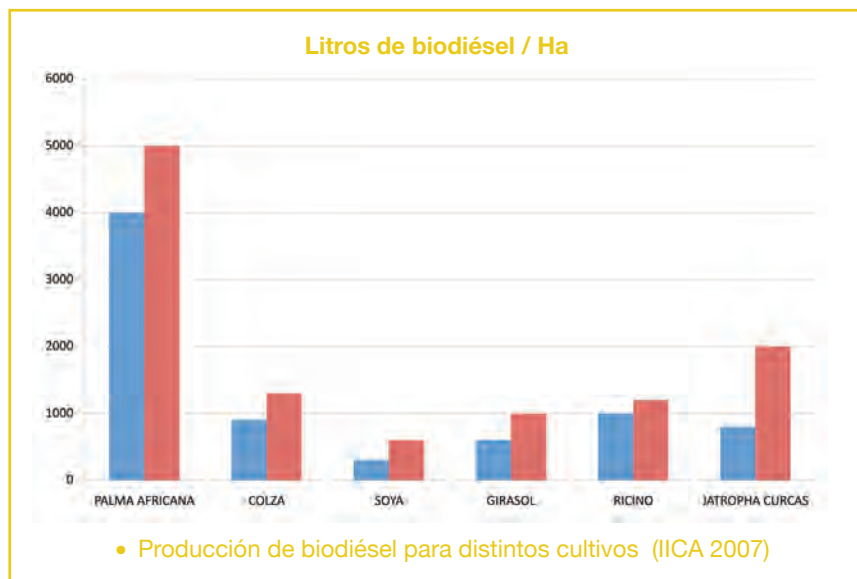
La jatrofa curcas presenta grandes expectativas gracias a sus altos rendimientos, actualmente países de la periferia de Europa ya están explotándola a gran escala (ICEX, Miguel Roca, 2009).

La palma africana también presenta valores de productividad muy altos, con producciones de 4.000-5000 lts/ha, siendo la especie de mayor rendimiento en Latinoamérica (IICA 2007).

Como en cualquier otro cultivo, el clima va a influir en el desarrollo de los cultivos, por ejemplo, a partir de una hectárea de palma en las regiones tropicales se

obtiene entre 3.700 y 5.400 l de biodiésel, mientras que si el cultivo es cardo en secano en regiones de clima mediterráneo se obtiene entre 150 y 360 l y además entre 9 y 13,5 t de materia seca.

A continuación se muestran rendimientos medios de ciertos cultivos para condiciones óptimas de luz y agua.

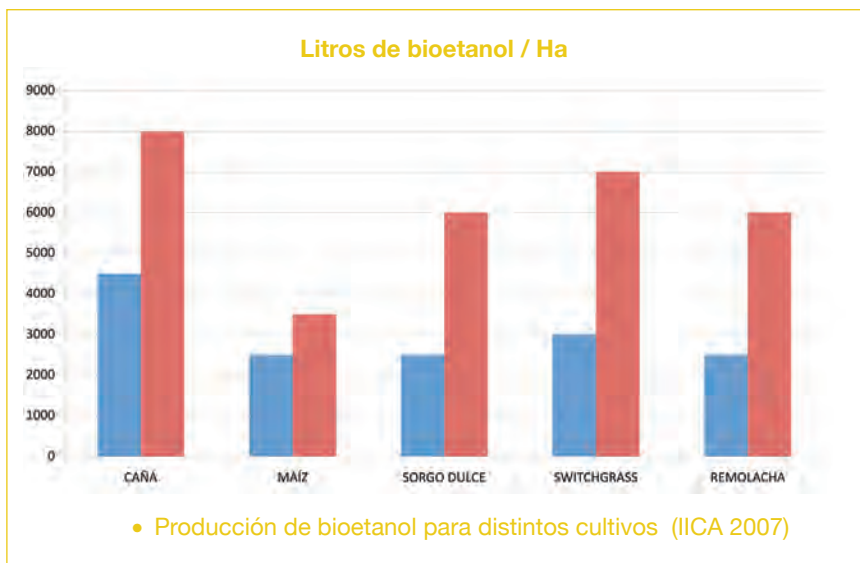


2.2 Cultivos para producción de bioetanol.

Al igual que en el biodiésel, la producción con cultivos tradicionales como el maíz está dando paso a la aparición de nuevas especies de mayor rendimiento.

Cultivos para la producción de bioetanol	
Convencional	Cereales (trigo, maíz, cebada...)
	Remolacha
	Caña de azúcar
Alternativos	Sorgo sacarino
	Patata
	Chumbera

- Cultivos tradicionales y alternativos para bioetanol (Proyecto Ecas 2007)



Rendimientos De Etanol Y Biodiesel De Diferentes Cultivos (IICA 2007)

Cultivo	Litros Biodiesel / Ha	Litros Etanol / Ha
Palma Africana	4000-5000	
Colza	900-1300	
Soya	300-600	
Girasol	600-1000	
Ricino	1000-1200	
Jatropha Curcas	800-2000	
Caña		4500-8000
Maíz		2500-3500
Sorgo Dulce		2500-6000
Switchgrass		3000-7000
Remolacha		2500-6000

	Etanol		Biodiesel	
Balance energetico (Unidad retornada de energia por cada unidad de energia no renovable usada)	Trigo	2	Girasol	3.2
	Remolacha	2	Canola	2.7
	Maiz	1.5	Soya	3
	Caña de azúcar	8.3	Palma	9
Balance ambiental (GHG emisiones por tonelada de petroleo, en toneladas equivalentes de CO ₂)	Remolacha	2.17	Soya	2.6
	Trigo	1.85	Canola	1.79
	Caña de azúcar	0.41	Palma	1.73
	Paja	0.33	Madera	0.27

ADEME, Comisión Europea.

- Comparativas de rendimientos biodiésel y bioetanol (IICA 2007)

2.3 Biomasa sólida.

Al igual que en otros cultivos, existen numerosas especies con capacidad de ser utilizadas como biomasa sólida, a continuación se nombran alguna de ellas.

Cultivos para la producción de biomasa solida
Leñosos
Chopo, Eucalipto, Sauce, Paulownia, Caña.

Dentro de estos posibles cultivos leñosos, se va a entrar en detalle sobre el chopo, la paulownia y el eucalipto.

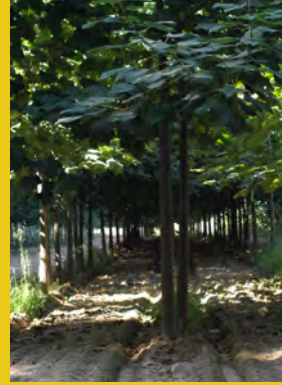
A) Paulownia

La Paulownia es un árbol de tradición milenaria en algunos países, pero en España es de reciente implantación, por lo que no existen datos contrastados a largo plazo sobre su productividad para este clima. No obstante, se están realizando estudios e investigaciones sobre su comportamiento en zonas de España, algunos de ellos promovidos por empresas comercializadoras, que muestran resultados positivos para su uso con fines energéticos.

En este apartado vamos a suministrar información sobre la Paulownia, recopilada de distintas fuentes y basada en investigaciones realizadas en los últimos años.

Características generales:

- Los árboles pertenecientes al género Paulownia spp. poseen un crecimiento rápido, siendo especialmente llamativo los primeros años de desarrollo.
- En condiciones normales, un árbol de 10 años de edad puede alcanzar los 30 – 40 cm de diámetro normal y un volumen de madera próximo a 0,3 – 0,5 m³ (Zhu Zhao-Hua et al., 1986).
- Se trata de una especie caducifolia que presenta una copa ancha y ramas de crecimiento horizontal con hojas de gran tamaño, color verde oscuro en forma ovalada y acorazonada.
- La floración de la especie se produce una vez por año y los frutos son una cápsula leñosa puntiaguda de color verde claro.
- El rango óptimo de temperaturas se localiza usualmente entre 24 °C y 29 °C de temperatura media diaria (Zhu Zhao-Hua et al., 1986).



• Plantación de Paulownias Extremadura (CiemxCiem Renovables)



• Detalle tamaño hoja Extremadura (CiemxCiem Renovables)

Algunas de las ventajas que identifican sus partidarios:

Rápido crecimiento, según las condiciones del terreno pueden alcanzar 4 metros en su primer año, sumando 2-3 metros más en el segundo año, pudiendo alcanzar los 12 metros a los 5 años.

Regeneración y rápido crecimiento después del corte, posibilitando turnos de rotación cortos de 2-3 años.

Tallo de crecimiento recto, sin nudos, que lo hace maderable, con una producción media de 30-35 Ton/Ha-año.

Tiempo de secado de madera corto, 20-40 días al aire libre (hasta 12% humedad).

Soportan condiciones de climas y suelos variadas, tanto de sequía (pasados los primeros años), como de frío y calor, o resistencia al fuego.

Hojas caducas de gran tamaño, el primer año pueden alcanzar hasta 50 cm. de anchura, reduciéndose el tamaño de las hojas conforme pasan los años hasta un tamaño de 12 cm.



• Detalle rebrote (Ciemx-Ciem Renovables)

Alta capacidad de absorción de nitrógeno que ayuda a su crecimiento.

Permita la convivencia con otras especies arbóreas e incluso los cultivos intercalados, tales como cereales o pastos, siempre que los marcos de plantación sean amplios (producción de madera).

Ausencia de enfermedades.

Algunos de los requerimientos y condiciones mínimos para la plantación son:

I. Tipo de suelo

Suelos con buen drenaje, el árbol no soporta encharques, pudiendo morir si se encuentra inundado entre 3 y 5 días. Por la misma razón, aquellos lugares donde el nivel freático está por encima de 2 metros no son recomendables.

Porcentaje de arcilla menor de un 20%, preferentemente sueltos y profundos, ya que la paulownia desarrolla una raíz pivotante que puede alcanzar hasta una profundidad de 9 metros

Condiciones de PH entre 5,5 y 8.

Mejor crecimiento en presencia de altas concentraciones de nitrógeno.

II. Climatología

Precipitación media anual de 800 mm, centrada en el periodo vegetativo, necesario riego durante los dos primeros años en las épocas más secas.

Niveles de radiación solar altos, con exposición directa al sol, mejoran los crecimientos.

Las heladas le afectan, llegando a secar tanto copas como tallos, siendo especialmente delicado durante los primeros años de vida. No obstante, la regeneración del árbol tras la helada es factible y rápida.

III. Características de la plantación

El marco de plantación aconsejable para biomasa es 2 x 3 metros (1.666 árboles/ha), e incluso inferior. Para la producción de madera es 3 x 3 metros (1.111 árboles/ha), incluso superiores (3 x 4, 4 x 4).

La época de plantación idónea es la primavera, concretamente los meses de mayo y/o junio, una vez se supere la época de heladas.

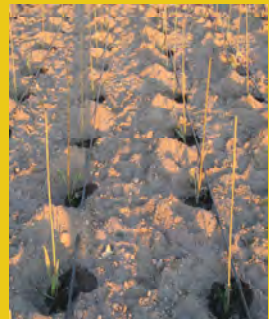
El riego mínimo una vez a la semana, sobre todo durante el primer y segundo año de crecimiento. Dosis de riego del orden de 1.500-2.000 m³/ha, para obtener buenos rendimientos.

No tolera bien la competencia de malas hierbas el primer año, siendo aconsejable el uso de fertilizante durante este periodo.

En los dos primeros años de crecimiento es conveniente eliminar los brotes laterales, cada dos o tres semanas, hasta una distancia de unos 3 metros del suelo.

Puede efectuarse un abonado durante los dos primeros años, con unas dosis aproximadas de 400g/planta de complejo fertilizante NPK 15-15-15.

En el caso de que el crecimiento no alcance 3 m de altura durante el primer año, se aconseja cortar la planta a ras de suelo a principios de primavera.



- Distintos sistemas de riego de cultivos (Cultivos y Plantaciones Energéticas SL, ITSIA Albacete, Invitro)

Características de la recolección.

Sistema de cosecha cada 2-3 años.

A los 17 meses de edad, se estima una producción de madera que oscila entre los 9 y 11 m³/ha, en las mejores condiciones experimentales (Antonio del Cerro Barja, 2009).

El poder calorífico inferior (PCI) muestra valores próximos a 19.520 KJ/Kg. o 4.669,85 Kcal./Kg. en base seca (Antonio del Cerro Barja, 2009) y de 4.400 Kcal./Kg. en base seca ó 2.900 Kcal./Kg., humedad = 29,9% (CIEMAT, 2007).



- Sistemas de recolección (ENCROP) y rebrote de tras recolección (Plantaciones y Cultivos Energéticos SL)

Rendimientos

El rendimiento de la plantación de Paulownia, al igual que el de otros cultivos energéticos, reside en la productividad anual y el precio que se comprometa mediante contrato con el comprador.

La productividad anual, a su vez, dependerá de varios factores como son marcos, riego, abono, condiciones de clima, etc. A este respecto, Antonio del Cerro Barja, 2009, muestra los siguientes resultados basados en sus investigaciones:

- Diferenciando por marcos de plantación, se observa que se acumula más biomasa cuando se realiza fertilización. Del mismo modo, al aplicar una dosis de riego superior se obtienen valores superiores.
- Se observa que la combinación riego a dosis alta sin fertilización proporciona valores superiores que la combinación riego a dosis baja con fertilización, lo que hace pensar que el factor riego posea mayor importancia que el factor fertilización.

- La acumulación de biomasa total, en todas las parcelas, refleja un modelo de crecimiento exponencial, propio de especie de crecimiento ultrarrápido.
- Las parcelas experimentales con un marco de plantación de 3x2 metros producen más biomasa (2.596,38 a 6.079,13 Kg/ha) que las parcelas con una marco de 3x3 metros (2.637,94 a 5.033,45 Kg/ha), para la edad de los cultivos estudiados.

La figura siguiente muestra los datos de kg/ha conseguido durante el primer año de cultivo para parcelas experimentales que fueron tratadas en distintas condiciones de riego, fertilización, etc.

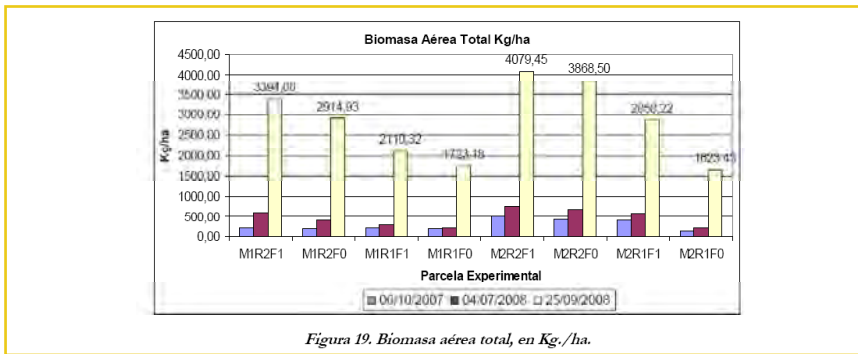


Figura 19. Biomasa aérea total, en Kg./ha.

Como datos generales de biomasa obtenida por hectárea, algunas fuentes comerciales señalan rendimientos observados de:

- 35-45 ton.m.s./Ha/año (30% humedad) (Vicedex, 2007)
- 50 TM/año (Cultivos y Plantaciones Energética S.L.)

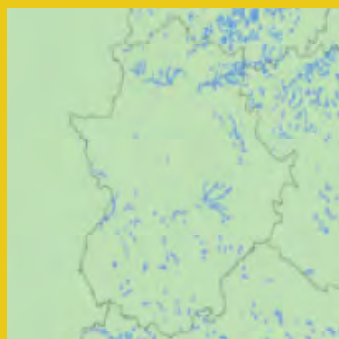
B) Chopo

El chopo es el cultivo, dentro de los tres a analizar, con mayor tradición dentro de la península. La madera para celulosa y para desarrollo han sido los aprovechamientos tradicionales de las choperas, normalmente a turnos cortos. A día de hoy, se plantean cultivos para la obtención de energía, con el mayor aprovechamiento posible de la biomasa aérea a turnos aún más cortos.

Al ser una especie con tradición de plantación, existe mayor cantidad de información de referencia y resultados de producción y rentabilidad. Tras una breve descripción general, el apartado se centrará especialmente en estos estudios y análisis.

Características:

Al igual que en el resto de las especies de rápido crecimiento, como la paulownia, el chopo presenta ventajas propias de estos cultivos: producciones elevadas en cortos periodos de tiempo; posibilidad de turnos cortos; producción concentrada y cercana a carreteras.; fácil la obtención de estaquillas y con gran capacidad para enraizar; etc.



- Estimación de la presencia de populus nigra en Extremadura

Plantación:

La plantación del chopo para fines energéticos se realiza con altas densidades con el objetivo de disminuir los costes de plantación, de cultivo y de cosecha. Los compromisos entre diámetros deseados a la corta y el marco de plantación se muestran en la siguiente tabla.



- Plantación manual de estaquillas y laboreo en chopera (Sinersys)

Marcos de plantación de chopos para biomasa

Diámetro ideal de corta en cm	10	11,25	12,25	13,75	15
Número ideal de pies por hectárea	2.603	2.155	1.820	1.562	1.333
Metros cuadrados por pie	3,8	4,6	5,5	6,4	7,5
Marco recomendable en metros	No útil	No útil	2,1 x 2,6	2,3 x 2,8	2,5 x 3

Turnos de corta:

Lo más recomendable es la corta un año antes del máximo rendimiento medio en biomasa, acarreado una pequeña pérdida de producción media por hectárea y año, a cambio de mantener la longevidad y el vigor de las cepas de chopo a largo plazo.

El crecimiento de los rebrotes es mayor, llegándose antes a la cantidad de biomasa máxima admisible. En España el incremento de la producción entre el primer recepe y los siguientes es del orden de $2/3$. A la edad de máximo rendimiento (4 años), el rendimiento en materia seca por hectárea y año es $5/3$ del alcanzado en la primera rotación de monte alto.

Lo aconsejable es que la biomasa acumulada no supere la indicada en el primer recepe, lo que obliga a un turno de corta más corto.



- Plantación de chopera y turnos de corta (Fundación Soria Activa e IDAE)

Análisis de plantaciones, costes y rentabilidad en la gestión de choperas.

A continuación se realiza un estudio del retorno económico de la producción de biomasa a partir de un taller de chopo, el estudio está recogido del IDAE. El modelo de negocio sería el siguiente:

- El agricultor es el que produce la biomasa por sus medios y un operador se la compra a un precio determinado, pactado. El agricultor, por tanto, realiza la plantación, el cultivo y el aprovechamiento recibiendo anualmente el 50% del valor acordado para la cantidad de biomasa correspondiente al crecimiento producido (o esperado). El resto del valor acordado lo recibe en los años de aprovechamiento en los que le entrega la biomasa al operador.

Los flujos económicos obtenidos en el estudio son:

Magnitud considerada	Valor
Renta de la tierra	150 €/ha
Productividad	20 t MS/año (a partir de la segunda corta)
Inversión plantación	572 €/ha
Vida plantación	22 años (5 cortas)
Costes anuales cultivo (riegos y plagas)	404 €/ha
Coste del agua (incluido en cultivo)	60 €/1.000 m3
Costes tras corta (abono y desmamonado)	272 €/ha
Costes aprovechamiento	2.915 €/ha
Precio de venta	75 €/t MS <> 56 €/t MH
Certificaciones parciales por 50% crecimiento anual	Depende del crecimiento esperado
Superficie y tiempo de cultivo	500 ha a 10 años
Margen de comercialización	15%
Precio de venta	86 €/t Mat. Seca 65 €/t Mat. Húmeda
Gastos generales	100 k€ año
IPC	3%

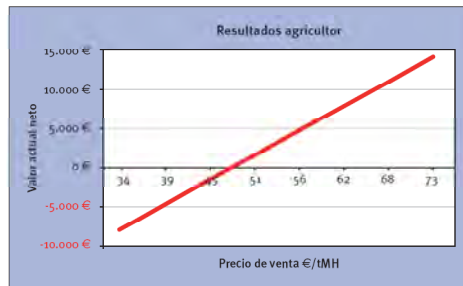
El estudio realiza una proyección de los flujos acumulados de caja a 10 años, obteniendo los siguientes resultados:

- El valor actual neto para el agricultor en el caso de realizar el cultivo asciende a 4.740 € por ha, mientras que el agente operador obtiene un valor actual neto de 4.197 €; y una TIR del 9%.

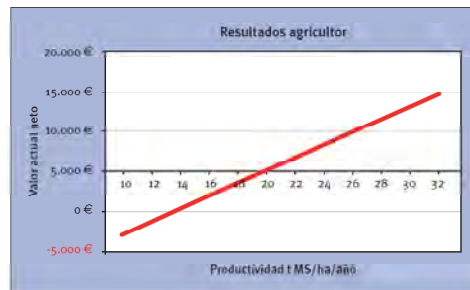
Otros datos de España y Europa (IDAE e INIA).

Otros datos de España y Europa (IDAE e INIA).
Otros estudios realizados a nivel europeo muestran resultados de producción de chopos diversos según condiciones de las mismas. Algunos de estos datos, junto con otros observados son:
6,3-19,8 ton MS/Ha/año (Ciria et Al 1996, Soria)
8-16,9 ton MS/Ha/año (San Miguel y Montoya 1984, España)
28.1 ton MS/Ha/año (Pontailer et al 1999, Francia)
35-40 Ton en pie (húmeda)/ Ha/año (ENCE 2010).
Con una producción media de 20 t MS/ha/año, y precio medio de 50€/Tm se obtienen rentabilidades del 9% (5.000€/Ha) IDAE.

Análisis de resultados IDAE.



- En las condiciones del estudio del IDAE (20 ton.m.s./ha/año), el agricultor no debería vender la biomasa por menos de 50 €/t, ya que estaría perdiendo dinero. Por eso es recomendable asegurarse de que los precios de mercado están por encima de tal entorno con anterioridad a hacer una plantación para explotar a turno corto.



- Del mismo modo, la rentabilidad de la chopera comienza a producirse entre los 14 y 15 ton.m.s./ha/año, aunque los valores de rentabilidad óptimos se fijan a partir de las 20 ton.m.s./ha/año, obteniendo un valor actual neto en torno a 5.000 €/ha, que equivale a una tasa de rentabilidad del 9%.

C) Eucalipto

El eucalipto es una mirtácea originaria de Australia que ha sido introducida en España por su alto crecimiento en condiciones adversas de frío y de suelos.

Características de la especie:

Existen cerca de 700 especies de eucalipto, de las cuales 37 tienen interés para la industria forestal, y unas 15 son usadas con fines comerciales.

Alcanzar grandes dimensiones al poder llegar a alturas entre 40-60 m aproximadamente (puede llegar a tener 90 m) y diámetros de hasta 1-2 m.

Es apto para climas templados o cálidos.



- Plantación de eucaliptos (Grupo ENCE)

Algunas de las ventajas del cultivo del eucalipto son las siguientes:

Ventajas del cultivo del eucalipto

Gran adaptabilidad de esta especie a terrenos fríos y de baja calidad.

Alta productividad y capacidad de crecimiento.

Son eficientes en consumo de agua en comparación con otras especies.

Producción media de 20 a 35 m³/ha año medida en Galicia, es decir, de 9 a 16 t/ha año, sin extraer ramas y otros restos

Secado rápido de la leña, experiencia en su empleo

Requerimientos y características de la plantación:

Las especies seleccionadas para cultivos energéticos muestran buena capacidad de rebrote, así como adaptación al cultivo en densidad elevada (3.000-3.500 pies/Ha), obteniendo producciones de 40Ton/año de materia verde (Grupo ENCE 2009).

Las especies comunes en uso forestal y las no seleccionadas presentan mala capacidad general de rebrote, mayor si se corta joven, pero en cualquier caso se pierde producción (Sims et al 2001).

Similar coste de plantaciones en altas densidades que otros cultivos energéticos.

Rendimientos:

Localización	Marco	m ³ /Ha ·año	Ton/Ha ·año	Fuente
Jaén (2010)	3 x 1	30,4	38	GRUPO ENCE
Huelva (2009)	3 x 1	32,8	41	Sociedad Andaluza de Valorización Biomasa
Galicia (2006)	1 x 0,5	13,50	-	Proyecto ECAS
Galicia (2006)	1 x 0,5	14,50	-	Proyecto ECAS

Investigaciones recientes muestran que, para parcelas de cultivos energéticos con regadío y utilizando especies de eucaliptos seleccionadas, las producciones de materia verde anual alcanzan las 40Ton/Ha y año (Grupo ENCE 2009).

Otras publicaciones anteriores, como el proyecto de investigación ECAS (2006), analizan los rendimientos de esta especie para producción en secano.

Las parcelas evaluadas dentro de este proyecto, destinadas a biomasa forestal en secano (especie de eucalipto nitens), con marcos de producción de 1,0x0,5 metros, presentaron producciones menores.

Los resultados expresados en m^3/ha año muestran, con 3 años de edad, un crecimiento medio de $14 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

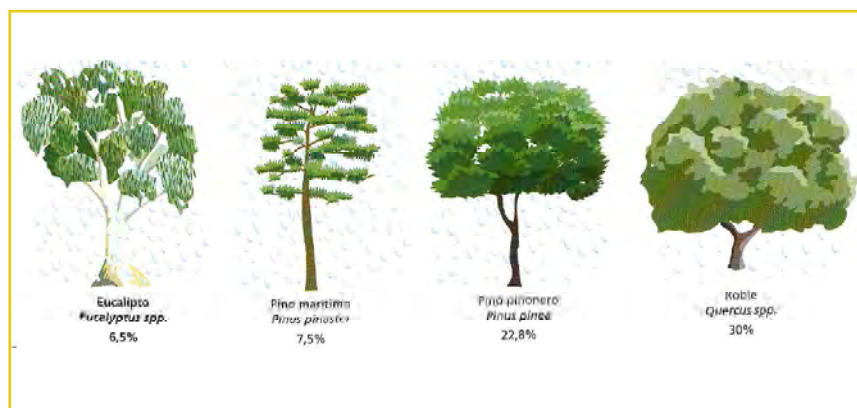
Los costes de instalación a marcos de $1 \times 0,5 \text{ m}$ se cifran para terrenos medios entre 3.400 y 4.000 €/ha.

D) Comparativas de estudios históricos (Grupo ENCE).

Consumos de agua (Jiménez, E; Vega, JA. et al, 2007).



Intercepción de agua (Gras J.M, 1993; González et al, 1983).



Extracción de nutrientes (González Esparcia, 1985).

Extracción de nutrientes del suelo (kg/ha/año)		Nitrógeno	Fósforo	Potasio
	Eucalipto <i>Eucalyptus globulus</i>	4,8	1,3	6
	Alamo <i>Populus x euroamericana</i>	12,1	5,2	18,5
	Sauce <i>Salix americana</i>	51,6	9	21,6
	Trigo <i>Triticum spp.</i>	110	22	50
	Heno de alfalfa	215	24	125
	Patata <i>Solanum tuberosum</i>	94	15	131

Fuente: González Esparcia (1985).

Rendimiento de especies comúnmente usados para celulosa.**RENDIMIENTO DE ESPECIES COMÚNMENTE UTILIZADAS PARA CELULOSA**

Rendimiento forestal ¹	Eucalipto	Abedul	Pino	Picea	Haya
m ³ /ha/año	15-30	3-8	2-10	4-10	2-9
turnos (años) de corta	9-14	25-45	75-110	60-80	100-140
Rendimiento industrial	E. globulus	E. grandis	Pino	Abedul	Alamo
m ³ /adt	2,8-2,9	3,8-4,0	5,0	4,5	4,9

¹Datos medios (dependiendo de la especie, clima y suelo) para madera comercial (rolizo entrada a fábrica medido sin corteza). No considera producciones forestales marginales.

3. Aspectos que influyen en un proyecto de cultivos leñosos.

Como se ha expuesto anteriormente, la rentabilidad de una plantación de cultivos energéticos va a depender de varios factores:

- El rendimiento del cultivo, medido en t MS/ha y año, o en t de biomasa húmeda /ha y año.
- El precio de mercado en el momento de la venta, o el precio que se haya cerrado en el contrato con el operador.
- Los costes de explotación: riego, fertilizantes, laboreo, alquileres de terreno, costes financieros, etc.
- La accesibilidad del terreno a maquinaria que automatice tanto labores de implementación como de explotación y recolección.
- La distancia a la planta, los sistemas propios de almacenamiento y secado.

A) Rendimiento del cultivo.

En los ejemplos previos se ha observado que el rendimiento de los cultivos, medidos en t/ha, va a variar según la especie cultivada, las condiciones climáticas y los cuidados que se realicen.

No obstante, se aprecia que el rendimiento mínimo debe estar entre 20 y 30 Toneladas de materia seca (30% humedad) por ha y año.

B) Costes de explotación e implantación.

El beneficio final de la inversión va a depender en gran medida de los costes de explotación del cultivo. Algunos datos de experiencias en el sur de España muestran:

- Precio plantación mecánica 0.1€/ y 0.14€/ para manual
- Costes anuales medios de mantenimiento 400 – 450 €/ha y año (fertilización, energía, agua, herbicidas, laboreo y poda, etc.)
- Precio corta 0.12 – 0.15 €/ud
- Costes de implantación de 1 Ha de cultivo 3.500-5.000 €.

C) Contrato y precio de venta.

El precio de venta podrá variar en función de la demanda estacional

Existen ya contratos de larga duración a agricultores. A continuación se describen tres modalidades que se están desarrollando en Extremadura en el año 2010:

- Alquiler de terreno: se recibe anualmente una cantidad de dinero por hectárea, que dependerá de las características del suelo, la cercanía a la planta, los accesos, etc.

La empresa se encarga de la plantación, mantenimiento y recolección del cultivo.

La duración del contrato es de 15 años.

Las mejoras en el terreno (sistemas de goteo, instalaciones, etc.) son propiedad del agricultor una vez finalizado el contrato.

Finalizado el contrato, el terreno se entrega en las condiciones en las que se alquiló, sin restos de los cultivos.

- Alquiler + prestación de servicios: igual que la opción anterior, pero se le añade la posibilidad de que el agricultor realice las labores de cuidado del cultivo.

El laboreo, riego, fertilización, poda, etc. lo realiza el agricultor con asistencia de técnicos de la empresa compradora y se le paga por estas labores a precio de mercado.

- Alquiler + variable por producción.

En esta opción, la plantación la realiza el agricultor, aunque las plantas las suministra el comprador gratuitamente.

El agricultor recibe un pago fijo anual que, dependiendo de las características del terreno y de las condiciones firmadas, con lo que se pretende cubrir los gastos derivados de la siembra y laboreo.

A este pago fijo se le une el plus por producción. Este plus se cuantifica el año de la cosecha, realizándose un pago por tonelada existente en campo.

La cosecha y el transporte son por parte del comprador.

Los precios del plus por productividad no están bien definidos y dependerán de las condiciones contratadas.

En estudios analizados, se obtienen unos precios aproximados de venta de producción (datos no contrastados a 2010):

- Precio medio en planta 35-50 €/t (30-40% humedad).
- Precio medio en campo 12-18 €/t (recolección y transporte por comprador).
- Beneficios medios por 35t-45t (25 Tms) de biomasa/ha en campo: 650-700€/ha año.

De forma independiente a estos ingresos hay que añadir el mantenimiento de las ayudas PAC de 45 Euros /Ha.



En Extremadura, en la PAC 2010 / 2011, sólo están incluidos el chopo y la paulownia como superficies forestales de rotación corta, permitiendo el cobro de la PAC.

D) Tipos de almacenamiento y recolección.



- Maquinaria de recolección y empacado.

Los cultivos energéticos leñosos presentan patrones estacionales de producción, es decir, las fechas de cosecha son durante un periodo fijo, mientras que el consumo de una planta eléctrica se realiza durante todo el año (demanda constante), debido a esta principal razón será necesario almacenar la producción entre 0 y 12 meses. El almacenamiento es relevante sobre todo cuando es por un largo periodo de tiempo, pues afectará a los costos, a la calidad (Poder calorífico, humedad, mohos, cenizas) o pérdida de materia seca entre otros.

El almacenamiento se puede realizar en diferentes localizaciones (próximas al área de producción, próximas a la planta, en un lugar intermedio entre ambos), existiendo diferentes opciones:

- Al aire: pequeñas pilas 3 m largo x 2m alto; grandes pilas (20-30 m largo x 4 alto); en pilas de tozas-astillas; pilas de pacas o balas; etc.
- En espacio cerrado: nave o silo.

E) Rentabilidad del transporte.

Los cultivos energéticos se suelen situar en localizaciones próximas a la Planta consumidora, a distancias menores de 50 km. a fin de reducir los costes de transporte, y el modo de transporte utilizado es carretera.

Son factores relevantes en relación con la productividad del transporte: tipo de vehículo, comprado/alquilado, distancia (km.), Capacidad de carga (m^3 /viaje, t/viaje, MWh/viaje), tiempos de carga/descarga, situación de las infraestructuras (que afecta a la velocidad km./h).

4. Proyectos y empresas relacionados con cultivos energéticos en Extremadura.

Entidad	Área	Contacto
AGENEX	Formación y asesoramiento	agenex@dip-badajoz.es
G. Investigación Gairber	Investigación sobre cultivos energéticos	jfelixgg@unex.es
Finca la Orden	Investigación sobre cultivos energéticos	jeronimo.gonzalez@juntaextremadura.net
Cultivos y Plantaciones Energéticas SL	Estudios e implantación de cultivos energéticos	inesport@inesport.es
Sinersys	Estudios e implantación de cultivos energéticos	csg@sinersys.es
Grupo ENCE	Plantas de generación eléctrica y cultivos	aagarcia@ence.es
Tiplan	Venta de cultivos	tiplan.josemariatimon@hotmail.com



REFERENCIAS

- Madrimasd (2004) Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol.
- Zhu Zhao-Hua, Xiong Yao Guo & Lu Xin-Yu (1986). Paulownia in China: cultivation y utilization. The Chinese Academy of Forestry Beijing, China.
- ANTONIO DEL CERRO BARJA (2009) Forestación de zonas semiráridas de Castilla-La Mancha con Paulownia spp.
- IDAE (2007) “Biomasa: Cultivos energéticos”.
- Encrop (2009) Energy from field energy crops – a handbook for energy producers.
- INIA (2007) Plantaciones del género Populus para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión.
- ICEX (2009) El sector de los biocarburantes en Senegal.
- ECAS (2007) Cultivos energéticos en el espacio atlántico.
- IICA (2007) Biocombustibles.
- www.euforgen.org/publications.html