

Agricultura

Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 

# Ahorro y Eficiencia Energética en los Cultivos Energéticos y Agricultura



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



IDAIE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía



*Agricultura*

# Ahorro y Eficiencia Energética en los Cultivos Energéticos y Agricultura

Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 



## **TÍTULO**

Ahorro y Eficiencia Energética en los Cultivos Energéticos y Agricultura

## **CONTENIDO**

Esta publicación ha sido redactada por Alberto Lafarga Añal, Jesús Goñi Repodas y Vicente Eslava Lecumberri, del Instituto Técnico y de Gestión Agrícola de Navarra, para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

.....  
Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.

Cualquier reproducción, total o parcial, de la presente publicación debe contar con la aprobación del IDAE.

ISBN: 978-84-96680-43-2

.....

### **IDAE**

**Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía**

**c/ Madera, 8**

**E - 28004 - Madrid**

**comunicacion@idae.es**

**www.idae.es**

Madrid, marzo 2009

# Índice

Página

<b>Prólogo</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>Introducción</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>1 Producción sostenible de biocombustibles</b> . . . . .	<b>9</b>
1.1 Residuos de origen agrícola . . . . .	10
1.1.1 Residuos de origen herbáceo . . . . .	10
1.1.2 Residuos de cultivos leñosos . . . . .	11
1.1.3 Valor energético de los residuos . . . . .	12
1.1.4 Propuestas para una gestión sostenible de los residuos de origen agrícola. . . . .	12
<b>2 Cultivos energéticos</b> . . . . .	<b>15</b>
2.1 Brasicas y triticales en secano para producir biomasa . . . . .	16
2.2 El cultivo del cardo en secano para producir biomasa . . . . .	17
2.3 Sorgo en regadío para producir biomasa . . . . .	19
2.4 Colza y girasol para biodiésel . . . . .	21
2.5 Cereales para bioetanol . . . . .	22
<b>3 Balance energético de los cultivos</b> . . . . .	<b>23</b>
3.1 Balance energético de los cultivos para biocarburantes . . . . .	24
3.2 Balances energéticos para cultivos de biomasa. . . . .	25
<b>4 Costes de producción y rentabilidad de los cultivos energéticos</b> . . . . .	<b>27</b>
4.1 Cultivos energéticos en secano . . . . .	27
4.2 Cultivos energéticos en regadío . . . . .	28

<b>5 Cultivos energéticos y biodiversidad . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>6 Generación de empleo y localización de la actividad económica . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>Conclusiones prácticas. Ahorro y eficiencia energética con los cultivos energéticos . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>Bibliografía . . . . .</b>	<b>35</b>

# Prólogo

Actualmente el crecimiento del consumo energético duplica, prácticamente, el crecimiento del PIB, lo que resulta insostenible. Además, este crecimiento se sustenta fundamentalmente en el incremento del consumo de energías fósiles, escasas y agotables, que hacen al sistema energético español dependiente en cerca del 80% de factores externos que no podemos controlar, entre los que se incluye la pluviometría.

El momento en que vivimos es decisivo, porque hay un escenario energético en el mundo –y concretamente en España más acentuado– que nos obliga a poner en marcha iniciativas y políticas que moderen el crecimiento de la demanda energética.

El sector de la agricultura también presenta una tendencia al crecimiento del consumo de energía, con sus consecuentes efectos negativos sobre la competitividad de los productos (costes) y sobre el medio ambiente (emisiones).

Cómo puede el agricultor reducir su consumo energético sin afectar a la rentabilidad de sus cultivos es uno de los objetivos principales del sector de agricultura de los Planes de Acción 2005-2007 y 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (aprobado en Consejo de Ministros de 8 de julio de 2005) y que está desarrollando el IDAE en colaboración con las CCAA.



En estos Planes de Acción, como una de las primeras medidas en favor del ahorro y la eficiencia energética, se prevé la realización de medidas de formación e información de técnicas de uso eficiente de la energía en la agricultura, con el fin de introducir y concienciar a los agentes del sector sobre la importancia del concepto de eficiencia energética.

Por todo lo anterior, y siendo conscientes de que el agricultor y el ganadero pueden tener una incidencia en el ahorro energético, el IDAE, siempre contando con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente

y Medio Rural y Marino, está realizando una serie de acciones en materia de formación, información y difusión de técnicas y tecnologías de eficiencia energética en el sector. Una de estas acciones es el desarrollo de una línea editorial en materia de eficiencia energética en el sector agrario mediante la realización de diversos documentos técnicos (como el que se presenta), donde se explican los métodos de reducción del consumo de energía en las diferentes tareas agrarias.

En este sentido, ya se han publicado y están disponibles en nuestra página web ([www.idae.es](http://www.idae.es)) los doce primeros documentos de esta línea editorial:

- Documento especial (coeditado con el MAPA): “Consumos Energéticos en la Operaciones Agrícolas en España”.
- Tríptico promocional: “Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.
- Documento nº 1: “Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola”.
- Documento nº 2: “Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío”.
- Documento nº 3: “Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas”.
- Documento nº 4: “Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola”.
- Documento nº 5: “Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agrícola”.
- Documento nº 6: “Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada”.
- Documento nº 7: “Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos”.
- Documento nº 8: “Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendi-gorría”.
- Documento nº 9: “Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes”.

- Documento nº 10: “Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes”.

Desde el IDAE trabajamos activamente para la mejora de la eficiencia energética y pensamos que el agricultor debe incorporar en su desarrollo y gestión la eficiencia energética como un criterio básico para la viabilidad. Pensamos con optimismo que el uso racional de la energía deberá formar parte de todas las decisiones que afecten al sector, convencidos de que los profesionales que actúen en este sector sabrán valorar las iniciativas que se proponen.

Es de vital importancia que los programas públicos de apoyo incorporen la eficiencia energética como un elemento prioritario, partiendo de la formación de formadores y agentes, y primando aquellos equipos más eficientes.



# Introducción

La agricultura, además del ahorro y uso eficiente del gasóleo y de las materias primas utilizadas en el proceso de producción, tiene otra manera de contribuir a la política de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, objetivo último de este programa de ahorro y eficiencia energética, que es la producción y uso sostenible de las energías renovables en la explotación.

La biomasa de origen agrario es una de las fuentes de energía renovable más significativas en el Plan Nacional de Energías Renovables (PER).

Claro que será necesario analizar el balance energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) evitadas, tanto en el proceso de producción como de almacenamiento y transporte de la biomasa, puesto que sería absurdo que para producir una tonelada equivalente de petróleo (tep) a partir de biomasa, necesitáramos utilizar más de una tep en el proceso o que al final no consiguiéramos reducir el efecto invernadero de una manera significativa.

También será necesario que los agricultores encuentren suficiente incentivo económico y rentabilidad en la producción de biomasa para fines energéticos, ya que de otro modo no será posible que este sector se desarrolle con éxito.

Este es un enfoque fundamental especialmente si hablamos de cultivos energéticos donde las distintas técnicas de cultivo tienen siempre un coste económico, energético y en emisiones significativo.

Por otra parte, también el agricultor, como consumidor de energía, tiene grandes posibilidades de utilizar las energías renovables.

Un modelo de generación y utilización de la biomasa en la propia explotación, en circuito corto, es más eficiente tanto energéticamente como en el balance de emisiones GEI totales.

El destinatario de este documento es el agricultor o ganadero en su doble faceta de productor de biomasa y de potencial usuario de esa biomasa para cubrir sus propias necesidades energéticas.



# 1 Producción sostenible de biocombustibles

La producción de energía a partir de la biomasa pretende, lógicamente, utilizar en primer lugar aquellas biomasa residuales que no tienen otros usos, pero dado que ese recurso es insuficiente, se plantea la utilización de cultivos específicamente diseñados para la producción de energía.

Claro que ante todo existe un requisito inexcusable de hacer aprovechamientos de biomasa que sean sostenibles. Este requisito debería aplicarse a todas las actividades humanas, pero de una manera especial a la producción de energías renovables, como pretende ser la biomasa, dado que su justificación está en ser alternativas a las energías fósiles actualmente existentes, responsables en gran medida del calentamiento global y del cambio climático.

Dos indicadores son imprescindibles en este sentido: los balances energéticos y las Emisiones de gases de Efecto Invernadero (GEI) evitadas. Claro que no habrá que olvidar otros indicadores ambientales, como el mantenimiento de la biodiversidad o de la fertilidad del suelo.

Indicadores principales	Pretenden justificar el carácter renovable de la biomasa en usos energéticos
	Balances energéticos
	Emisiones GEI evitadas
Indicadores económicos	Pretenden poner de relieve el interés de la biomasa para los productores
	Beneficio empresarial
	Inversiones
Indicadores ambientales	Pretenden dar respuesta a la necesidad de sostenibilidad de las actividades agrarias
	Biodiversidad
	Fertilidad del suelo
Indicadores sociales	Pretenden evaluar los impactos esperados para la calidad de vida de las personas
	Empleo
	Localización

Por otra parte, los indicadores económicos, como el beneficio empresarial de los cultivos y las necesidades de inversión, y los sociales, como la generación de empleo y la localización, tienen también un papel fundamental.

La utilización de residuos nos llevará a tomar como elemento de comparación la existencia de otros usos y el papel de los residuos agrícolas incorporados al suelo para mantener su fertilidad.

Los cultivos energéticos deberemos compararlos con los cultivos alimentarios a los que supuestamente van a suplantar. No cabe duda que unos y otros van a competir por una superficie agrícola limitada, en un marco sociopolítico y económico cambiante.

## 1.1 Residuos de origen agrícola

Se considera residuo a aquellos materiales generados en las actividades humanas que no tienen valor económico. Los residuos agrícolas tienen una gran heterogeneidad, repercutiendo esto enormemente en su utilización como combustible.

Los residuos agrícolas más representativos son los procedentes de cultivos herbáceos, como la paja de los cereales, restos de cultivos hortícolas o restos de cultivos industriales (oleaginosos, algodón, tabaco,...) y los procedentes de cultivos leñosos, como los restos de podas o del levantamiento de cultivos (plantas viejas, enfermas, tocones,...). Merecen también mención los residuos procedentes de industrias agroalimentarias por su potencial energético, ya que llegan a alcanzar cifras considerables y pueden constituir un verdadero problema para la industria.



Foto 1. Pajera de cereal (Acciona)

Existen una serie de barreras importantes al uso de los residuos agrícolas para producir energía, especialmente la dispersión, estacionalidad, la mecanización de la recogida y la variabilidad en el precio al competir con otros mercados.

Los objetivos energéticos propuestos en el Plan de Energías Renovables (PER) en términos de incrementos de energía primaria durante el periodo 2005-2010 (IDAE; 2005) son, para residuos agrícolas herbáceos, 660.000 tep; para residuos agrícolas leñosos, 670.000 tep; y para residuos de industrias agrícolas, 670.000 tep. En términos de potencia eléctrica instalada durante el periodo 2005-2010, son 100 MW para cada uno de los tipos de residuos anteriormente citados.

La mayor contribución la harían Andalucía en cuanto a residuos agrícolas leñosos (26,6%) y Castilla y León en cuanto a los residuos agrícolas herbáceos. En relación a los residuos de industrias agrícolas, la mayor contribución es de Castilla y León (26,6%) y en residuos de la industria forestal es de Andalucía (28,3%).

Para poder llevar a efecto lo propuesto, en el PER 2005-2010 se contemplan ayudas a la adquisición de maquinaria agrícola (recogida y tratamiento de biomasa) y primas a la producción de electricidad (con residuos agrícolas).

Análisis prospectivos de la biomasa residual de los cultivos agrícolas proponen entre 2,5 y 5 millones de tep potencialmente disponibles en España para usos energéticos, una vez descontada la reserva ecológica necesaria y otros usos actuales de estos residuos.

### 1.1.1 Residuos de origen herbáceo

Al realizar una evaluación de estos residuos para su uso energético se debe tener en cuenta que no todo el residuo existente está disponible y es utilizable para usos energéticos, puesto que, en algunos casos, es más interesante dejarlo en el campo por motivos económicos o medioambientales, y en otros ya se está valorizando en otros usos no energéticos.

Se puede estimar la cantidad de residuo de un cultivo a partir de su producción comercial (kg de residuo/kg de producción). En cada cultivo existe una variabilidad en función de la variedad utilizada y el sistema de cultivo (secano o regadío).

**Tabla 1. Producción de residuos de algunos cultivos herbáceos**

Cultivo agrícola	Kg residuo/kg producto
Trigo, cebada, avena	0,6-1,3
Centeno	1,0-1,5
Maíz	0,8-2,0
Arroz	0,5-1,0
Sorgo	1,0-2,0
Girasol	0,7-2,0
Hortícolas	Muy variable
Leguminosas grano	Muy apreciado en alimentación animal

Además es necesario tener en cuenta que el suelo necesita incorporar materia orgánica para mantener o incrementar su fertilidad y no se debe exportar, por tanto, la totalidad de los residuos. También los residuos tienen un papel importante en la lucha contra la erosión.

Por otra parte, es importante conocer los usos alternativos que tiene el recurso que se desea evaluar. Por ejemplo, la paja de cereal de invierno disponible, en un año normal, puede ser del orden del 40-45%, pues el resto se comercializa fuera del sector (champiñoneras, piensos, papeleras, ganadería), o se autoconsume para alimentación animal o camas para el ganado. Estos porcentajes de disponibilidad varían también de unas zonas geográficas a otras.

La recogida de los residuos en un corto periodo de tiempo exige altas inversiones en maquinaria, lo cual repercute negativamente en su coste. Todavía queda mucho que avanzar si pensamos en los sistemas de recolección con aprovechamiento mixto grano y paja.

La proximidad a los centros de tratamiento es fundamental para reducir los costes de transporte. El almacenamiento de las pacas es otro punto crítico, debiéndose habilitar cubiertas para las pajas si se quiere evitar pérdidas muy significativas.

Los residuos procedentes de cultivos de invernaderos (residuos con humedades del orden del 40%) se producen durante todo el año y contienen proporciones considerables de tierra, plásticos, alambres, etc. que pueden suponer hasta el 50% del peso total y que, previo a su utilización energética, es conveniente eliminar en origen.

### 1.1.2 Residuos de cultivos leñosos

La evaluación de este recurso se puede realizar en función de la superficie destinada al cultivo, y más concretamente el número de árboles por unidad de superficie. Cifras orientativas en kg/año y árbol podrían ser las siguientes:

**Tabla 2. Producción de residuos leñosos de cultivos.**

(Fuente: IDAE)

Cultivo	Kg residuo/año y árbol
Frutales de hueso y pepita	2,5
Cítricos	2
Almendra	3
Olivar	8
Viñedo	0,5-1

Actualmente, se puede decir que los residuos agrícolas leñosos apenas tienen aprovechamiento con valor de mercado, a pesar de que conllevan un coste inevitable para el agricultor, dada la necesidad de retirarlos o de picarlos para facilitar el tránsito y el laboreo de las parcelas.



Foto 2. La poda de los frutales (ITGA)

Se puede realizar el astillado o empacado de las ramas dentro de las fincas, para lo cual existe maquinaria de diversos tipos. Actualmente, las máquinas astilladoras están más desarrolladas que las empacadoras para este tipo de residuos. Sin embargo, el desarrollo de nuevos prototipos de máquinas empacadoras de biomasa leñosa puede hacer interesante su uso por motivos de logística.

El almacenamiento de la astilla conviene realizarlo en lugares habilitados a tal efecto al objeto de poder controlar y evitar la ignición y favorecer el secado natural. Por este motivo puede ser recomendable disponer de un parque centralizado cercano a la central para este tipo de materiales.

### 1.1.3 Valor energético de los residuos

Además de conocer la disponibilidad de recursos para fines energéticos, se deben conocer también las características químico-energéticas de los mismos.

**Tabla 3. Caracterización energética de residuos.**

(Fuente: Laboratorio CIEMAT-CEDER (Soria))

Residuos	(MJ/kg materia seca)	
	PCS	PCI
Paja de trigo	18,6	17,2
Paja de centeno	18,6	17,2
Cascarilla de arroz	17,0	15,8
Residuo de maíz	18,4	17,1
Almendro	18,9	17,6
Manzano	19,0	17,7
Olivo	19,5	18,1
Sarmiento	19,2	17,9

Así podemos indicar que no existen grandes diferencias entre los distintos residuos tanto herbáceos como leñosos en relación a su poder calorífico, que se encuentra entre 17 y 18 MJ/kg materia seca.

### 1.1.4 Propuestas para una gestión sostenible de los residuos de origen agrícola

La disponibilidad de los residuos herbáceos y leñosos para usos energéticos tiene límites que vienen

marcados, no sólo por aspectos económicos que marcarán la rentabilidad de su uso, sino también por la aplicación de otros criterios, como los balances energéticos, las emisiones evitadas y el papel de estos en el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

El transporte es uno de los factores clave para obtener balances energéticos y emisiones GEI evitadas suficientemente favorables. Para reducir el coste energético de esta variable se deberá considerar fundamentalmente:

- Densificar la biomasa en origen lo más posible.
- Posibilizar al máximo el secado en origen de los residuos y, a ser posible, por medios naturales: el sol y el aire.
- Plantas de tratamiento próximas a los centros de producción de los residuos.
- Estandarizar el sistema de transporte para conseguir optimizar el coste energético por tonelada.

El rendimiento, como cantidad de residuos recolectables por ha, es otro factor clave para los usos energéticos. Rendimientos inferiores a 2 t/ha pueden hacer poco sostenible su aprovechamiento.

- Excluir de los planes de explotación de residuos las zonas de rendimientos bajos.



Foto 3. Empacadora de paja (ITGA)

La mecanización del proceso de recolección con criterios de mínimo coste energético es fundamental, siendo ésta una vía de progreso muy significativa. Es necesario desarrollar investigación práctica en esta área por centros especializados, fundamentalmente en el área de leñosas.

- Dimensionar las máquinas y trenes de mecanización necesarios entre los más eficientes energéticamente.
- Investigar aquellos sistemas integrados de recolección, pretratamiento y transporte que permitan reducir el coste energético de la t de materia seca puesta en planta.

Por otra parte, el papel de los residuos vegetales en el suelo agrícola es fundamental para mantener su fertilidad, especialmente en lo relativo a los niveles de materia orgánica, actividad biológica del suelo y estructura de los agregados del suelo, porosidad, aireación, etc.

- Incorporar residuos al suelo habitualmente y en cantidades variables según la capacidad del suelo para su digestión. Pueden ser razonables entre 2 y 4 t/ha de promedio anual.
- En cultivos herbáceos, como regla general, es importante incorporar al suelo siempre los rastrojos de al menos 20 cm de altura.





## 2 Cultivos energéticos

A nivel global se han desarrollado cultivos para producir con ellos como materia prima distintos tipos de energía, desde la producción de calor hasta electricidad, biogás y los llamados biocarburantes, como el bioetanol y biodiésel.

Los cultivos lignocelulósicos se utilizan para producir calor y electricidad; los ricos en azúcar o almidón para producir bioetanol; y los cultivos oleaginosos para producir biodiésel.

Cultivos lignocelulósicos	Cultivos ricos en azúcar	Cultivos ricos en almidón	Cultivos oleaginosos
Cereales	Caña	Cereales	Colza
Brasica	Remolacha	–	Girasol
Cardo	–	–	–
Sorgo	–	–	–

Existe una lista mucho mayor de cultivos energéticos posibles, como el miscanto, la caña gigante, el kenaf, la pataca, etc., en los que no vamos a profundizar por su limitada significación en el marco actual de producción.

Los objetivos energéticos propuestos en el Plan de Energías Renovables (PER) en términos de incrementos de energía primaria durante el periodo 2005-2010 (IDAE; 2005) son, para el total de cultivos energéticos, 1.908.300 tep. En términos de potencia eléctrica instalada durante el periodo 2005-2010 se ha previsto instalar 513 MW.

Este crecimiento de la biomasa está condicionado a las primas e incentivos establecidos para la producción de energía eléctrica con biomasa.

Respecto a los biocarburantes, los objetivos se cifran en la directiva europea 2003/30 ya traspuesta a la legislación española, que contempla como objetivo el alcanzar el 5,75% de uso de combustibles para el transporte con biocarburantes en el 2010 (10% en el 2020).

Para conseguir este objetivo, el PER centra sus esfuerzos en los cereales para producir bioetanol (550.000 tep) y en los aceites vegetales puros (1.021.800 tep.), para producir biodiésel.

El cereal y los aceites vegetales pueden provenir tanto de la producción nacional como de la importación. En todo caso, es casi impensable que nuestra agricultura sea capaz de asumir la producción de trigo, cebada, colza o girasol en la cantidad necesaria para atender a la demanda que se genera.

La investigación en nuevos cultivos y la mejora de los ya existentes que se viene realizando en los últimos tiempos tendrá que aportar sus frutos en los próximos años.

## 2.1 Brasicas y triticales en secano para producir biomasa

La producción de biomasa lignocelulósica con cultivos de brasicas, napus y carinata para la producción de energía ha sido experimentada de un modo práctico en los últimos cinco años en Navarra y Soria en el marco del proyecto europeo Bioelectricity. Se han sembrado más de 1.000 hectáreas, pudiendo realizar un seguimiento de los aspectos agronómicos del cultivo, así como realizar los balances económicos y energéticos de este cultivo.

Se han obtenido producciones medias de 5 t bs/ha en el conjunto total de las siembras realizadas, evaluándose asimismo los puntos débiles del cultivo, siendo la implantación del cultivo y la tolerancia al frío dos aspectos claves para su éxito.

**Tabla 4. Rendimiento de brasicas y triticales en materia seca por hectárea**

	Rendimiento materia seca/ha				
	1 <sup>er</sup> tercil	2 <sup>o</sup> tercil	3 <sup>er</sup> tercil	Máx.	Media
2003	5,64	4,11	2,67	7,07	4,14
2004	8,73	7,22	5,14	9,99	6,86
2005	5,98	3,77	2,64	7,4	4,13
Media	5,67	5,03	4,6	8,15	5,04

Nota sobre la interpretación de la tabla 4: El 1<sup>er</sup> tercil representa el promedio del tercio de las parcelas más productivas y expresa el potencial del cultivo. El 2<sup>o</sup> tercil es el promedio de las parcelas entre 1/3 y 2/3 más productivas, y el 3<sup>er</sup> tercil es el promedio de la producción del último tercio de las parcelas.

Producciones medias de 6,5 t bs/ha son posibles a corto plazo gracias a los conocimientos adquiridos (+5% de la media del primer tercil) y a la mejora en la recolección (+10% de la media del primer tercil), pudiendo estimar un potencial en el entorno de las 10 t bs/ha a medio plazo con los progresos previsibles (+5%+10% sobre el mejor tercil del periodo).

Simultáneamente, y en el marco del mismo proyecto Bioelectricity, se evaluaron en el sur de Francia las producciones de biomasa con triticales (cereales), alcanzándose producciones medias de 9 t/ha.



Foto 4. Segado de brasicas

En brasicas, la recolección (segado) se hace cuando se empiezan a formar las silicias de las brasicas y antes de que se haya formado el grano completamente (para evitar perderlo en el proceso de recolección) sin que el sistema haya planteado problemas significativos de manejo de biomasa con humedades iniciales de 60-80% que se secan sobre el suelo antes de hilerarse u empacarse con humedades en torno al 15%.

Este método de recolección fue evaluado previamente en el proyecto europeo FAIR CT96 1946 de *Brassica carinata*. En cereales, la recolección puede hacerse del mismo modo o esperando a que la planta se seque completamente en pie.

Durante la recolección se han podido evaluar con precisión las pérdidas que se producen en las distintas labores realizadas: siega, hilerado, empacado y manipulación, siendo ésta una de las técnicas que puede permitir un progreso rápido de mejora.

**Tabla 5. Pérdidas de biomasa de brasicas respecto del total de biomasa en campo en las diferentes labores realizadas**

% Pérdidas medias	Brasicas
Siega	3
Hilerado	9
Empacado	6
Total	18

El poder calorífico de las biomásas producidas es muy similar y las variaciones encontradas son muy pequeñas y poco significativas, siendo los valores medios obtenidos de 18,42 MJ/kg bs.

### Claves para el cultivo de brasicas para biomasa

- Elección de la parcela: son válidas las mismas parcelas en las que habitualmente se cultiva cereales.
- Variedad: elegiremos variedades recomendadas por productividad forrajera, encamado reducido y buen vigor de nascencia.
- Siembra:
  - Fecha: de mediados de octubre a mediados de noviembre.
  - Labor: se debe conseguir tierra fina en superficie para obtener una buena nascencia. El cultivo se adapta bien a la siembra directa.
  - Profundidad de siembra: no más de 2 cm.
  - Marco: la distancia entre líneas óptima es de 25 - 30 cm (tapar 1 de cada 2 botas de la sembradora convencional de cereales).
  - Dosis de siembra: 70-100 semillas/m<sup>2</sup>.
- Fertilización: aportar en fondo 80 UF P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 60 UF K<sub>2</sub>O.

La fertilización nitrogenada se hará con un 20% menos que la del trigo en la misma zona.

- Herbicida: dado que se realiza un aprovechamiento forrajero, el uso de herbicidas es reducido. Aplicar antigramineo ante infestaciones altas de este tipo de hierbas.

- Plagas: puede ser necesario tratar posibles ataques tempranos de limaco o pulgillas para garantizar la buena implantación del cultivo. Vigilar y actuar en caso de apariciones posteriores de gorgojos en primavera.

### Claves para el cultivo de triticales y avenas para biomasa

- Elección de la parcela: son válidas las mismas parcelas en las que habitualmente se cultivan cereales.
- Variedad: todavía no hay una lista de variedades recomendadas; elegir las más forrajeras. Puede ser interesante la asociación de estos cereales con alguna leguminosa anual, como veza o guisante, para reducir el uso de fertilizantes.
- Siembra y fertilización: se siguen las mismas pautas que con los cereales de la zona. En asociación como avena+veza o similares puede reducirse significativamente, o incluso eliminarse, el fertilizante nitrogenado.
- Herbicida: siempre que se realice un aprovechamiento forrajero el uso de herbicidas será reducido.
- Recolección: hoy se tiende a dejar secar la planta en pie y recolectarla con humedades del 14%.

## 2.2 El cultivo del cardo en secano para producir biomasa

Entre los posibles cultivos alternativos utilizables para la producción de biomasa de uso energético destaca el cardo (*Cynara cardunculus L.*), que es una especie originaria de la región mediterránea, perteneciente a la familia de las Compuestas (*Asteraceae*) y con excelentes condiciones de adaptación a la gran mayoría de las tierras cerealistas de secano o de los regadíos marginales.

Se trata de un cultivo vivaz que rebrota cada otoño después del aprovechamiento de su biomasa integral en el verano. Su explotación productiva puede alargarse varios años.

Según estudios sistemáticos recientes, la especie *Cynara cardunculus* agrupa tanto a formas silvestres como al cardo cultivado y a la alcachofa, aunque ésta última fue considerada por Linneo como una especie diferente (*Cynara scolymus* L.).



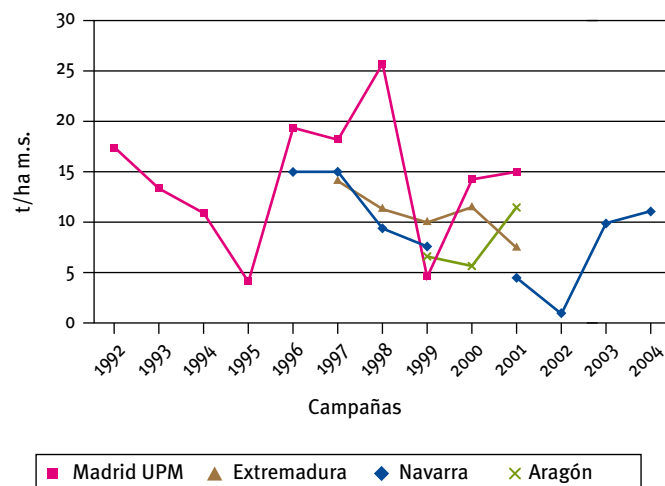
Foto 5. Plantación de cardo como cultivo energético

Los primeros trabajos sobre la utilización del cardo como cultivo energético empezaron hace más de veinte años en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (ETSIAM), publicándose los primeros resultados en la década de los 90.

En las plantaciones iniciales se utilizaron semillas procedentes de ejemplares de cardo comestible naturalizado, tras un proceso de selección masal. De las semillas iniciales se obtuvo una población que se denominó ETSIA-1, que fue utilizada en cultivos experimentales.

En el ámbito europeo de la bioenergía, el cardo está reconocido y considerado como uno de los posibles cultivos energéticos para producción de biomasa, y se le conoce tradicionalmente con el nombre de cynara.

Gráfico 1. Ensayos del cardo en España



Los trabajos realizados en España en el marco de distintos proyectos INIA y en la ETSIAM permiten situar el cultivo con potenciales de producción en torno a las 10 t/ha y año, si bien en suelos profundos y años húmedos se obtuvieron rendimientos muy superiores. Los peores resultados se obtuvieron en años secos o con problemas de plagas no controladas (ratos, taladros).

La recolección se realiza por siega y posterior empaquetado de la planta entera una vez se ha secado completamente en pie en campo.

El conjunto de la biomasa integral del cardo cosechado de este modo puede utilizarse para fines térmicos, con un poder calorífico inferior del orden de las 3.000 kcal/kg (para un contenido en humedad del 15%), o puede someterse a un proceso de separación selectivo de los frutos y partes más valiosas de la biomasa, lo cual se podría realizar mediante un sistema estático antes de utilizar la biomasa para fines térmicos. Los frutos se podrían usar como materia prima para la producción de aceite, del que se podría obtener un biodiésel de una calidad aceptable.

## Claves para el cultivo de *Cynara cardunculus* para biomasa

- Elección de la parcela: el cultivo requiere suelos ligeros y profundos, de naturaleza caliza y con capacidad de retener agua en el otoño e invierno. En roseta soporta temperaturas inferiores a -5 °C.
- Siembra
  - Fecha: siembra de otoño. Siembra temprana para conseguir que llegue al estado de roseta antes de los fríos. La siembra de primavera se recomienda donde las heladas de invierno llegan pronto. En este caso sembrar después del periodo de heladas.
  - Sembradora: preferible con sembradora monograno de precisión.
  - Profundidad: 2-4 cm.
  - Marco: la distancia entre líneas será de 70-80 cm, y entre 5-10 cm entre golpes. Puede necesitar un pase cruzado de aclareo si nacen la totalidad de las semillas.

Dosis de siembra: se pretende obtener entre 15-25 mil plantas/ha.

- Fertilización:
  - Año de implantación, en fondo: 50-100 UF-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100-200 UFK<sub>2</sub>O.
  - En cobertera, años productivos: aportes variables en función del potencial, entre 50-150 UFN/ha). Aportes de fósforo y potasa según fertilidad del suelo y extracciones del cultivo.
- Herbicida: el deshierbe en el año de implantación es importante, pudiéndose utilizar Trifluralina o bien Alacloro-linurón, según la flora existente. También puede hacerse necesario el uso de antigramíneos específicos. El binado con un cultivador entre líneas es una buena práctica para eliminar las malas hierbas de la calle.
- Control de plagas. Es necesario prestar atención a plagas como la Cásida, el Taladro, los pulgones

y algunos dípteros. Se utilizan insecticidas autorizados en el cardo de consumo humano.

También pueden observarse daños de ratones y topillos, muy ávidos de las raíces del cardo. Se puede actuar con trampas y cebos.

- Recolección:
  - Secado natural en campo y siega de la planta entera y empacado con rotoempacadora.

## 2.3 Sorgo en regadío para producir biomasa



Foto 6. Plantación de sorgo

Algunos cereales de verano como el maíz y el sorgo han mostrado una gran capacidad para producir biomasa, siempre que dispongan de la cantidad de agua (riego) y los nutrientes (nitrógeno fundamentalmente) necesaria para su crecimiento.

Producir energía en los regadíos es una oportunidad a considerar que ofrece muchas posibilidades de diversificación entre cultivos de verano, como el sorgo, o de invierno, como brasicas y triticales, con un menor gasto de agua.

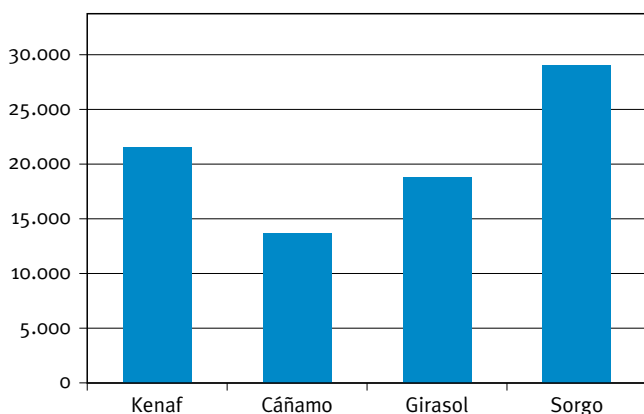


Foto 7. Ensilado de sorgo

Tal vez el mayor problema planteado con el sorgo está en la elección del sistema de recolección, dado que las épocas de cosecha se sitúan en el final del otoño, con humedades muy altas de la biomasa y dificultades para hacer un secado al sol en esos momentos en muchas regiones españolas. Esto hace que la recolección por henificado al sol sea dificultosa.

En algunos casos se hace la recolección por ensilado de la biomasa húmeda, siendo buena la conservación, pero costoso el transporte y el secado posterior.

**Gráfico 2. Rendimiento máximo de materia seca en regadío (kg/ha) de cultivos energéticos en Navarra en el periodo 1998-2000.** (Fuente: Proyecto UPNA-ITGA 1998-2000)



En cuanto a las posibilidades de producción de biomasa en regadíos, las experiencias realizadas en varias comunidades autónomas (Andalucía, Extremadura, Castilla y León, Navarra, ...) han permitido seleccionar el sorgo bicolor como la especie más prometedora, con producciones en ensayo cercanas a las 30 t bs/ha en las situaciones más favorables, lo que nos lleva a estimar producciones medias en campo superiores a las 20 t bs/ha.

El poder calorífico de las biomásas (PCI) de sorgo bicolor se sitúa entre 16 y 18 MJ/kg bs (Fuente: Proyecto UPNA-ITGA 1998-2000).

### Claves para el cultivo de sorgo para biomasa

- Elección de la parcela: preferiblemente parcelas de suelos sueltos, bien drenados, con buena preparación del terreno.
- Sistema de riego: conveniente utilizar aspersión puesto que la nascencia es dificultosa.
- Siembra:
  - Fecha: principios de mayo. Se deben garantizar buenas temperaturas para favorecer la nascencia.
  - Sembradora: se puede sembrar con sembradora monograno o sembradora a chorrillo (esta última, siempre y cuando sea fiable en dosis y distribución), utilizando una bota de siembra de cada dos (35 cm de separación entre líneas).
  - Profundidad: 2-3 cm.
  - Marco: la distancia entre líneas puede ir desde 35 cm hasta 70 cm.
  - Dosis de siembra: las óptimas estarán entre 175.000 y 225.000 semillas/ha.
    - Monograno: sembrar a 70 x 8 (8-10 kg/ha)
    - Chorrillo: sembrar a unos 10-12 kg/ha.
- Fertilización:
  - Fondo: 50 UFN, 100 UFP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 UFK<sub>2</sub>O.

- Cobertera: el cultivo responde al nitrógeno de un modo similar al maíz cuando vamos a su máximo potencial (180-250 UFN/ha).
- Herbicida: MCPA a dosis de 1,5-2 l/ha.
- Riego: las necesidades totales de agua son de 400-500 mm.
- Recolección:
  - Recolección planta fresca. Se realiza con ensiladora, pudiendo darse varios cortes al cultivo. El método es muy eficiente en campo pero obliga a gestionar un alto porcentaje de agua, lo que encarece el transporte y obliga a un secado posterior.
  - Recolección planta seca. Se realiza por siega, acondicionado, secado al sol y empaquetado. Necesita ensayar máquinas apropiadas.

El momento de máxima biomasa será en la madurez fisiológica.

## 2.4 Colza y girasol para biodiésel

El cultivo de colza es conocido en España desde los años 80, periodo en el que tuvo un auge significativo gracias a su buena adaptación a las condiciones de cultivo de los secanos frescos y sus buenas condiciones de mercado. Posteriormente cayó en declive recuperando estos últimos años su interés ligado a la demanda de aceite de colza para la producción de biodiésel.



Foto 8. Campo de colza en flor

Los progresos de la genética han permitido que el potencial de este cultivo hoy sea muy elevado, siempre que se den, por supuesto, las condiciones ambientales y de cultivo apropiadas, pudiendo hablar de rendimientos potenciales por encima de las 3-3,5 t/ha.

Existen variedades híbridas y variedades clásicas o líneas. Hoy en día es interesante el uso de las variedades híbridas cuando se pueda hacer un cultivo técnico, bien conducido y donde el potencial de producción esperado sea elevado, al menos de 3 t/ha. Hay que tener en cuenta que estas variedades exigen siembras con dosis muy reducidas, de 3 a 4 kg/ha, por lo que la sembradora a utilizar tendrá que ser de precisión, y su coste es significativamente más elevado que el de las variedades clásicas o líneas.

Las barreras al desarrollo de la colza están ligadas a los problemas de implantación del cultivo, al tener que sembrarse al final del verano o principios de otoño, periodo habitualmente muy seco. Por otra parte, en zonas templadas la colza se muestra muy sensible al ataque de una amplia gama de plagas, que obligan a realizar tratamientos insecticidas y reducen su potencial significativamente.

En cuanto al girasol, se trata de un cultivo muy bien conocido por los agricultores como cultivo alimentario, sin que su uso energético plantee problemas añadidos. Los industriales prefieren girasoles alto o medio oleicos, que mejoran la calidad del biodiésel obtenido.



Foto 9. Campo de girasoles en flor

Tanto en colza como en girasol es significativo el contenido en grasa de sus semillas, puesto que incide directamente en la cantidad de aceite que se puede obtener de ellos, siendo de este modo un factor económico importante.

### Claves para el cultivo de colza para biodiésel (manual de colza: [www.genvce.org/archivos/Separatacolza07.pdf](http://www.genvce.org/archivos/Separatacolza07.pdf))

- Elección de la parcela: evitar suelos de textura fuerte y no utilizar parcelas con alta población de Sina-pis (malas hierbas similares a la colza y de difícil control).
- Variedad: elegiremos variedades recomendadas por productividad, ciclo vegetativo, encamado y vigor de nascencia. El Grupo de Colza GENVCE publica anualmente resultados de ensayos de variedades.
- Siembra:
  - Fecha: de mediados de septiembre a primeros de octubre.
  - Labor: se debe conseguir tierra fina en superficie. El cultivo se adapta bien a siembra directa.
  - Profundidad de siembra: no más de 2 cm.
  - Marco: la distancia entre líneas más óptima es de 25-30 cm (tapar 1 de cada 2 botas de la sembradora).
  - Dosis de siembra:
    - Variedades híbridas 40-60 semillas/m<sup>2</sup>.
    - Variedades clásicas o líneas 50-100 semillas/m<sup>2</sup>.

- Fertilización: aportar en fondo 80 UFP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 60 UFK<sub>2</sub>O.

La fertilización nitrogenada es similar a la del trigo. En zonas con rendimiento esperado de colza mayor de 3.000 kg/ha aportaremos 180 UFN en dos coberteras (la primera intentaremos hacerla pronto, antes del 15 de enero).

- Herbicida: las autorizaciones son muy limitadas. Se aplicará en presiembra (trifluralina), dejando una posible aplicación antigramínea para la postemergencia.
- Plagas: tratar posibles ataques tempranos de limaco o pulguillas. Vigilar y actuar en caso de apariciones posteriores de pulgones y gorgojos.

## 2.5 Cereales para bioetanol

La producción de cereales para bioetanol no implica la realización de un tipo de cultivo diferente del realizado tradicionalmente por los agricultores.

En realidad, la industria se abastece de los mismos proveedores que el sector alimentario, utilizando normalmente los cereales de menor precio que pueden encontrarse en mercados de importación. También se realizan contratos en tierras de retirada, que pueden ponerse en valor gracias a estos usos para energía.



### 3 Balance energético de los cultivos

---

Las plantas captan energía solar para producir biomasa vegetal, pero además, en el sistema productivo agrario, se necesita aportar cierta cantidad de energía exterior, la cual interesa considerar (eléctrica, mecánica, etc.).

Cuando se realiza un cultivo para obtener biomasa transformable en energía el balance energético tiene una importancia fundamental. Un cultivo energético tiene que presentar como principal característica un balance energético positivo; es decir, debe producir más energía que la que se consume en su cultivo y recolección, sin contabilizar aquí, lógicamente, la energía solar que utiliza.

Un balance energético es una operación sencilla de entradas y salidas de energía necesarias para producir un producto, como el trigo, cebada, girasol, colza, etc.

Las entradas (input) serán, en primer lugar, las energías primarias utilizadas, como el gasóleo de los tractores y máquinas que laborean la tierra, siembran, cosechan o transportan la cosecha. Pero también tendremos que tener en cuenta las energías secundarias, procedentes del uso de las materias primas y de los materiales. Es el caso de los fertilizantes, fitosanitarios, semillas y de los propios tractores y máquinas en sí mismos. Por ejemplo, si producir y transportar cada kilogramo de fertilizante tiene un coste energético determinado, este coste deberemos cargárselo al cultivo en el que lo apliquemos al hacer su balance energético.

Las salidas (output) corresponden al valor energético de las cosechas del cultivo producido y comercializado.

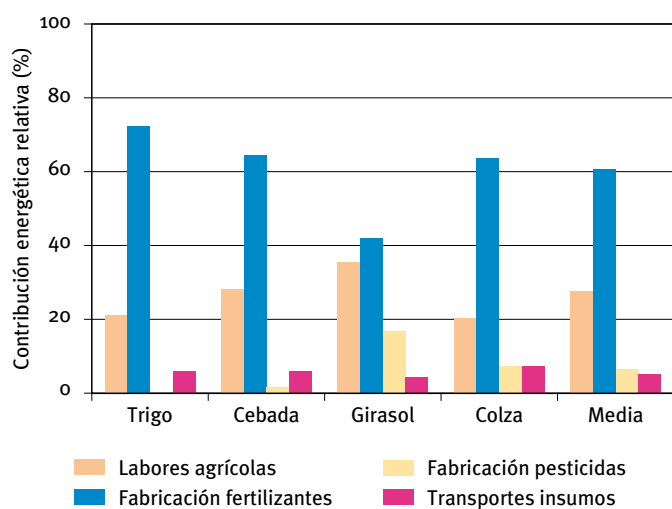
El balance energético de un cultivo consistirá en relacionar las entradas con las salidas de energía expresadas en las mismas unidades. Los balances energéticos pueden expresarse bien en valores absolutos de Energía Neta ganada o perdida, procedentes de la diferencia entre SALIDAS y ENTRADAS de energía y expresada normalmente en megajulios por hectárea (MJ/ha), o bien en valores relativos, como Eficiencia Energética del cultivo, procedente del cociente entre SALIDAS y ENTRADAS de energía y expresado en unidades de eficiencia. Así decimos que, por ejemplo, el cultivo de colza produce cinco veces más energía que la consumida (Ciria, 2006).

### 3.1 Balance energético de los cultivos para biocarburantes

Veamos los ejemplos de la utilización de cuatro cultivos (trigo, cebada, girasol y colza) para producir biocarburantes. Elegimos este estudio por su consistencia al haber sido realizado por el Ciemat en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Educación y Ciencia.

En el citado estudio se evaluaron las entradas y salidas de los cultivos participantes y se obtuvo de esa manera balances energéticos globales muy representativos de los procesos de producción agrícola de estas materias primas para la industria energética.

**Gráfico 3: Contribución energética relativa (%) de los principales componentes de la producción agrícola para distintos cultivos.** (Fuente: “Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte”. Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Educación y Ciencia y Ciemat, (2005-2006))

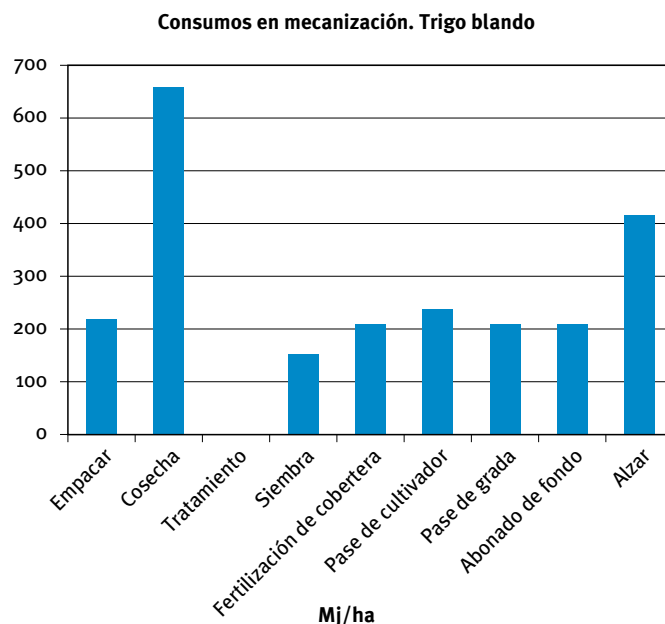


El gráfico muestra claramente la importancia relativa de los distintos componentes energéticos analizados, pudiendo llegarse claramente a la conclusión de que el gasóleo de las labores agrícolas y los fertilizantes son los dos componentes fundamentales del balance energético de un cultivo.

En el caso de los cultivos analizados (trigo, cebada, girasol y colza) el consumo medio de gasóleo representa más del 25% del total del consumo energético del cultivo; y el consumo medio de los fertilizantes, especialmente el

nitrogenado, representa más del 60% del total de energía utilizada en el cultivo (con excepción del girasol).

**Gráfico 4: Contribución energética de los principales consumos en mecanización del trigo blando.** (Fuente: “Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte”. Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Educación y Ciencia y Ciemat, (2005-2006))



Si nos referimos al consumo de gasóleo, tal y como puede observarse en el gráfico 4, dos son las labores más importantes a tener en cuenta para mejorar el balance energético de los cultivos (sirva el trigo blando para bioetanol, como ejemplo), la primera labor de alzada o sus alternativas y la recolección o cosecha.

En conjunto, la recolección de grano y paja representó el 39% del consumo en las labores agrícolas, y la preparación de la tierra para sembrar (alzar+pase de grada+pase de cultivador) representó el 37%. En este sentido puede profundizarse en esta línea en uno de los documentos de esta misma Serie Técnica ya publicado, “Ahorro y Eficiencia en el laboreo agrícola”.

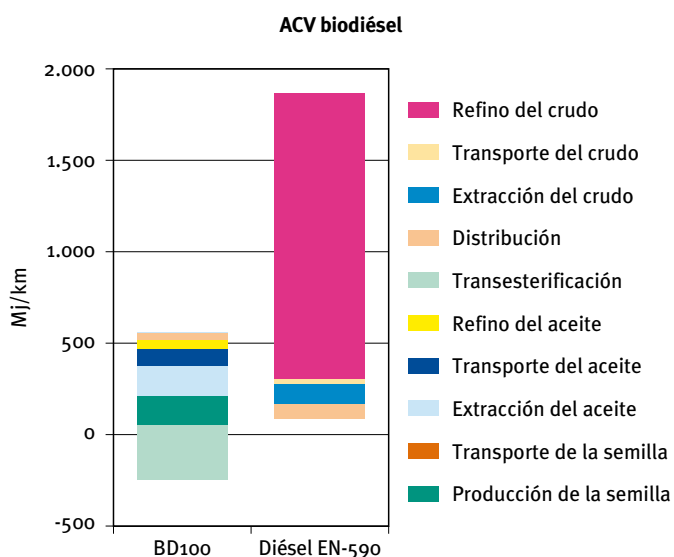
Si hacemos referencia al consumo energético derivado del uso de los fertilizantes, nos referimos especialmente a los fertilizantes nitrogenados. Este tema ha sido abordado en profundidad en otro de los documentos ya publicados de esta misma Serie Técnica, “Ahorro y Eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados”.

Cuando consideramos el Análisis del Ciclo de Vida completo de la producción de los biocarburantes (junto al proceso de producción agrícola, primer eslabón de la cadena productiva), se añade el transporte de las semillas, la extracción del aceite y su refinado, transporte del aceite, esterificación, transporte y distribución del biocombustible.

Estos resultados indican que la producción de biodiésel BD100% de aceites vegetales crudos supone un ahorro de 1,5 MJ de energía fósil por km recorrido respecto a la producción de diésel EN-590, lo que constituye un ahorro de un 75% de energía fósil.

En el caso del bioetanol E85% el ahorro de energía fósil es de 1 MJ por km recorrido respecto a la gasolina 95, lo que supone un ahorro del 36%.

**Gráfico 5: Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del biodiésel y diésel comparándolos desde el punto de vista de consumo de energía por kilómetro recorrido.** (Fuente: Ciemat)



En cuando a las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero evitadas (GEI), en el ciclo de vida de estos biocarburantes analizados fueron 170 g (gramos equivalentes CO<sub>2</sub>) con el bioetanol E85, lo que supone un ahorro del 90% de las emisiones producidas con el combustible equivalente en gasolina-95. Con el biodiésel (BD100%) se evitaron 92 g equivalentes CO<sub>2</sub> y un 57% de ahorro respecto al combustible fósil, diésel-EN590 en este caso.

### 3.2 Balances energéticos para cultivos de biomasa

Presentamos a continuación los resultados de los balances energéticos realizados por Ciemat sobre los cultivos de triticale y brasicas para biomasa en el marco del proyecto Bioelectricity.

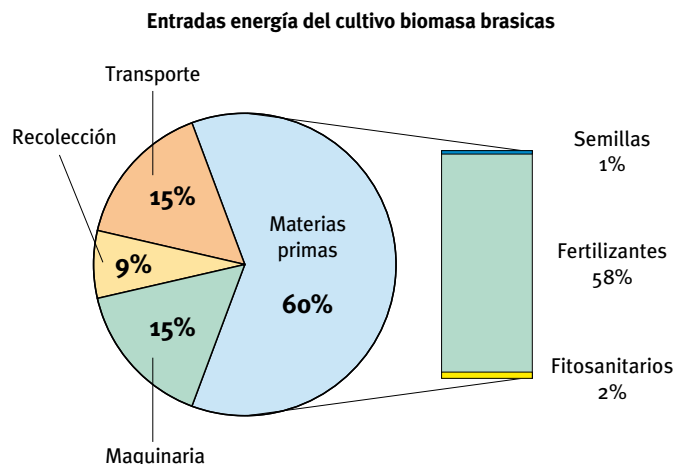
Las entradas de energía a tener en cuenta, en este caso, en el cultivo y su recolección son mano de obra, abonos, fitosanitarios, semillas, maquinaria agrícola (consumo de combustible y gastos energéticos de su fabricación y mantenimiento), y material de construcción y riego (consumo de energía en motores y en la fabricación de equipos).

La producción total de energía (outputs) se calcula a partir de la producción de biomasa recolectable (biomasa útil o de valor comercial) obtenida en el cultivo y el poder calorífico de la misma.

Es importante tener en cuenta la distribución relativa de las entradas de energía que han sido necesarias a lo largo del cultivo (tomamos como ejemplo un cultivo de brasicas del proyecto Bioelectricity). Esto nos permite observar cómo de nuevo en estos cultivos de biomasa para generación de electricidad el mayor gasto energético es el del fertilizante nitrogenado.

En este caso se debe prestar una atención especial al transporte de la biomasa, ya que por su baja densidad tiene un peso más significativo en el balance energético que cuando se trata de semillas.

**Gráfico 6. Distribución de energía utilizada en la producción de biomasa con Brasicas.** (Fuente: Ciemat) (Fuente: Proyecto Bioelectricity)



Los balances energéticos obtenidos en el proceso de cultivo con brasicas son muy favorables, incluso con rendimientos relativamente bajos de 5 tbs/ha. En la medida en la que mejoramos los rendimientos la eficiencia energética (E. producida/E. utilizada) mejora significativamente.

Cuando consideramos el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) completo, desde la producción de biomasa en campo hasta la puesta en red de los kWh generados en la planta bioeléctrica, los resultados no son espectaculares, pero sí suficientemente favorables. Esta eficiencia mejorará ostensiblemente cuando se aproveche el calor residual una vez utilizado en las turbinas de generación eléctrica.

**Tabla 6. Balances energéticos para distintos rendimientos.** (Fuente: Proyecto Bioelectricity)

Para varias producciones producciones en t/bs	5	6,5	8	9,5
Balance absoluto cultivo (MJ/tbs)	15.111	15.842	16.299	16.611
Balance relativo cultivo (E.producida/ E. utilizada)	5,6	7,2	8,8	10,4
Balance absoluto ACV (MJ/tbs)	1.151	2.128	2.738	3.155
Balance relativo ACV (E.producida/E. utilizada)	1,3	1,7	2,1	2,5

En resumen, hemos citado como cultivos de interés para la producción de calor y/o electricidad el cardo (*Cynara cardunculus*), la *Brassica napus* (colza), *Brassica carinata* y los cereales (cultivos de secano) y el *Sorghum bicolor* (sorgo) como cultivo de regadío. Estos cultivos presentan balances energéticos positivos con una relación media output/input en torno a 6-8 para las brasicas y cereales y superior a 10 para el sorgo.

Además, en un sistema de producción energética completo (ACV), del campo al kWh en la red eléctrica, el balance absoluto es positivo (1.500-2.000 MJ/tms) y el relativo, o eficiencia energética global, muestra entre 1,5 y 2,5 veces superior la energía producida que la consumida en todo el proceso.



Foto 10. Cultivo de *Brassica carinata*

## 4 Costes de producción y rentabilidad de los cultivos energéticos

---

La sostenibilidad económica es uno de los factores clave para el desarrollo efectivo de los cultivos energéticos en España.

Es indudable que será necesario que los agricultores encuentren suficiente estímulo económico en los nuevos cultivos y nuevos usos energéticos para que realmente se produzca un desarrollo significativo y exista una amplia oferta de biomasa en sus distintas formas para tal fin.

Los costes de producción y los márgenes netos son los mejores indicadores económicos que podemos utilizar en la comparación de cultivos alimentarios tradicionales y las nuevas opciones energéticas que se le ofrecen a los agricultores actualmente.

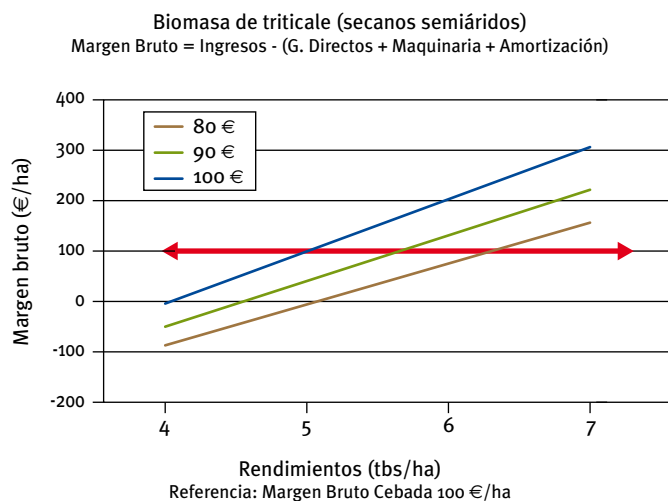
El rendimiento umbral nos permite conocer a partir de qué producción comenzamos a obtener rendimiento económico positivo, una vez cubiertos los gastos de cultivo. Los rendimientos equivalentes nos permiten conocer con qué rendimiento igualamos el margen neto del cultivo utilizado como referencia. Del mismo modo, se realiza el análisis con los precios umbral y equivalente.

### 4.1 Cultivos energéticos en secano

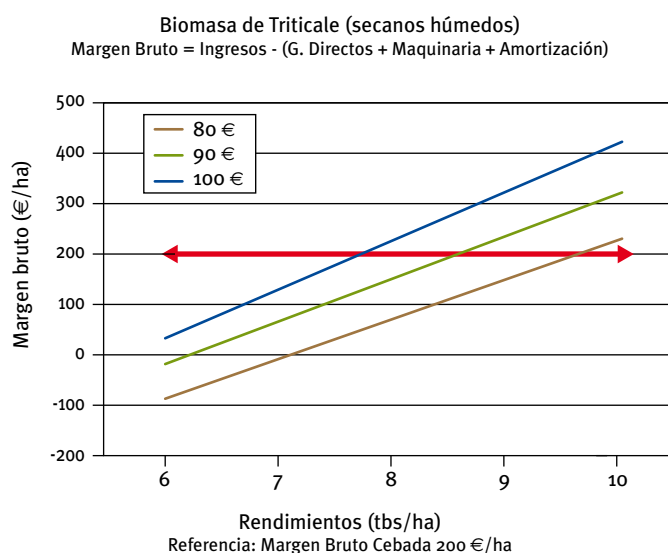
En la estructura de costes de producción de los cultivos de biomasa en secano, la parte más significativa es la recolección (30% del coste total en biomasa, frente a 15% en cultivos alimentarios) y transporte de la biomasa, siendo este aspecto por tanto clave en su manejo para obtener una buena rentabilidad para estos cultivos.

Si observamos los márgenes netos de los cultivos de biomasa, en secano podemos encontrar los rendimientos umbral y de referencia para los cultivos de biomasa.

**Gráfico 7. Margen bruto de cultivo de biomasa de triticale en zona de secano semiárido.** (Fuente: elaboración propia ITGA)



**Gráfico 8. Margen bruto de cultivo de biomasa de triticale en zona de secano húmedo.** (Fuente: elaboración propia ITGA)



Para la producción de biomasa con cereales como los triticales o avenas necesitaremos producciones de en torno a 5 tbs/ha en secanos semiáridos (referencia 2,5 t/ha y 80 €/tbs), y por encima de 7 tbs/ha en secanos húmedos (referencia 4,1 t/ha y 80 €/tbs) para cubrir los costes de producción del cultivo (rendimiento umbral). Con estos rendimientos comenzará a ser interesante el utilizar las tierras de retirada para estos cultivos energéticos y no cultivo de cebada, que en este caso se ha utilizado como referencia. Con escenarios de precios menores lógicamente los rendimientos umbral son superiores, como puede verse en los gráficos.

Si utilizamos brasicas para biomasa tratando de incrementar la diversidad de cultivos en la explotación, los costes de producción son algo superiores y el margen neto es ligeramente inferior.

Por el contrario, con los cultivos permanentes, como el cardo, se consigue disminuir los costes de producción al no tener que preparar y sembrar cada año, y los márgenes netos pueden ser mayores con parcelas bien implantadas.

Cuando hablamos de producción de aceite para biodiésel las opciones de colza y girasol en secano (ver tabla resumen) ofrecen márgenes muy diferentes, siendo claramente más favorables en el caso de girasol. En colza serían necesarios precios por encima de 300 €/t para rentabilizar el cultivo, aunque los rendimientos son muy mejorables en la medida en la que se vaya adquiriendo experiencia en este cultivo (Tabla 7).

En los costes de producción no se han considerado, ni la renta de la tierra, ni la mano de obra del agricultor, ni ingresos por PAC. Los usos energéticos de colza y girasol tendrían 45 €/ha suplementarios en el margen neto que aparece en la tabla. (Fuente: elaboración propia ITGA).

## 4.2 Cultivos energéticos en regadío

En regadío es más controvertido la producción de biomasa dado que el agua es un recurso escaso, necesario para producir alimentos prioritariamente sobre la producción de energía.

En regadío pueden hacerse coyunturalmente cultivos de otoño para producir biomasa, como cereales y brasicas, con un consumo de agua reducido y unos costes de producción competitivos e interesantes para los agricultores. Los sistemas de riego por aspersión, al tener mayores costes de amortización, son menos rentables para estos cultivos.

Los cultivos de verano, como el sorgo, podrán ser muy rentables económicamente con precios a partir de 90 €/tbs de biomasa. Se espera que los rendimientos crezcan más rápidamente ofreciendo márgenes netos muy favorables. No obstante, no será fácil superar al maíz, dados los altos precios que está teniendo este cereal.

**Tabla 7. Indicadores económicos de los cultivos tradicionales y de producción de biodiésel**

Cultivo	Zona	Estrato regionalización	Rdto. ref.	Precio ref.	Coste total	Rdto. umbral	Rdto. equival. cebada	Precio umbral	Precio equival. cebada	Margen neto
Cebada	Secano	3,2	3,2	180	496	2,8	3,2	155	180	80
Cebada	Secano	3,7	3,7	180	534	3,0	3,7	144	180	132
Cebada	Secano	4,1	4,1	180	567	3,1	4,1	138	180	171
Cebada	Secano	4,4	4,4	180	593	3,3	4,4	135	180	199
Colza	Secano	3,2	2,2	280	655	2,3	2,6	298	334	-39
Colza	Secano	3,7	2,4	280	720	2,6	3,0	300	355	-48
Colza	Secano	4,1	2,6	280	773	2,8	3,4	297	363	-45
Colza	Secano	4,4	3,2	280	816	2,9	3,6	255	317	80
Girasol	Secano	3,2	1,5	350	443	1,3	1,5	295	349	82
Girasol	Secano	3,7	1,7	350	469	1,3	1,7	276	353	126
Girasol	Secano	4,1	1,8	350	491	1,4	1,9	273	368	139
Girasol	Secano	4,4	2,0	350	510	1,5	2,0	255	355	190

En cuando a la colza, su rentabilidad será interesante con rendimientos altos (superiores a 3,5 t/ha) pero tiene que avanzarse mucho en rendimientos para que pueda sustituir a otros cultivos extensivos menos problemáticos ya existentes en los regadíos.

Las conclusiones a las que podemos llegar analizando la rentabilidad de los cultivos son las siguientes:

- Para los cultivos de biomasa, el alcanzar el rendimiento umbral e, incluso, el rendimiento equivalente a cebada es razonable tanto en secano como en

regadío. Para alcanzar los rendimientos equivalentes al maíz hará falta que, tanto los precios como los rendimientos, vayan siendo lo más favorables, como es de esperar en el medio plazo.

- Con respecto a la colza, la situación es más desfavorable, especialmente si los precios de los abonos mantienen la tendencia alcista que están teniendo.
- El girasol ya es un cultivo introducido como alimentario, su destino energético por tanto dependerá exclusivamente de los precios de uno y otro mercado.

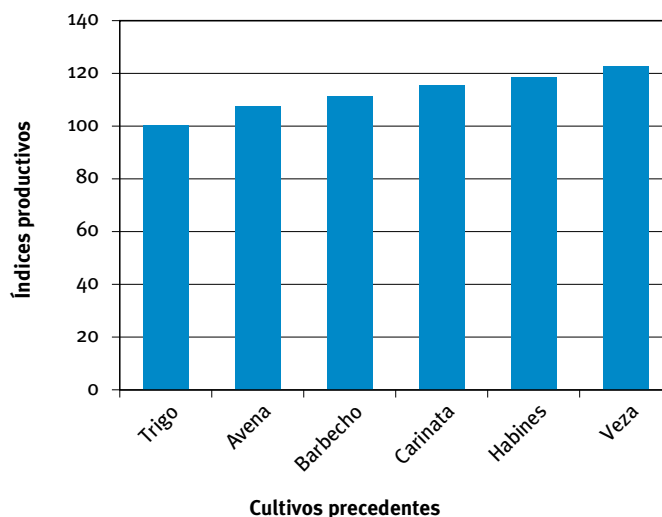




## 5 Cultivos energéticos y biodiversidad

El cultivo de brasicas se inserta muy bien en una rotación cerealista, produciendo significativos aumentos de rendimiento en los cereales siguientes y permitiendo reducir tanto el uso de fertilizantes nitrogenados como de fitosanitarios, al disminuir la presión de algunas plagas y malas hierbas.

**Gráfico 9. Rendimiento del trigo según el precedente cultivado.** (Fuente: Ensayo Beriain, 1995-2006. ITGA)



El cultivo de colza se ha mostrado muy interesante cuando se introduce en una rotación cerealista, aportando mejoras muy significativas en el rendimiento de los dos cereales que se siembran tras ella (13 y 12%, respectivamente), además de permitir una reducción del uso de fitosanitarios.

**Tabla 8. Incrementos de producciones de trigo en los tres años siguientes a la siembra de diversos cultivos alternativos.** (Fuente: Ensayo de rotaciones Beriain (11 años))

	1º trigo (%)	2º trigo (%)	3º trigo (%)
Trigo	0	0	0
Cebada	6	2	3
Colza	13	12	2
Girasol	13	9	5
Guisante	15	9	2
Barbecho	13	9	5

Los progresos realizados en los últimos años en el conocimiento de las técnicas de cultivo de la colza podrán permitir un crecimiento de la superficie de este cultivo en España con resultados satisfactorios para los agricultores y utilizadores.

### Esquema 1. Interacción del cultivo precedente con la fertilización nitrogenada

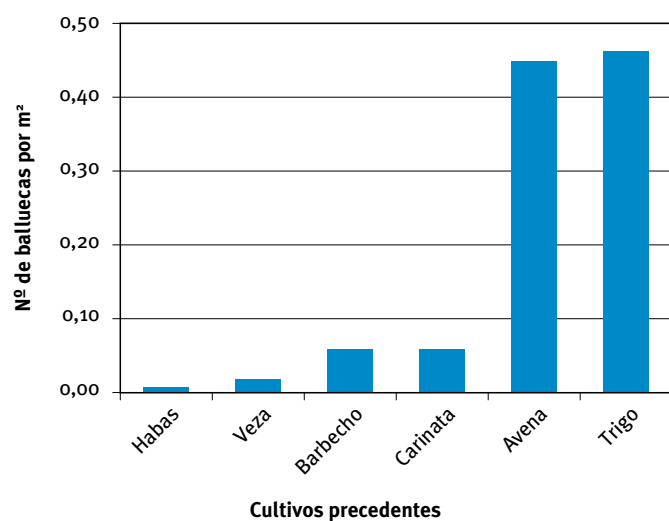
Nitrógeno (kg) necesario para producir una t de trigo

Cultivo precedente	2002	Cultivo precedente	2004
Avena	28,7	Avena	25,1
Barbecho	19,7	Barbecho	22,7
Carinata	21,6	Carinata	19,3
Habas	17,6	Habas	21,7
Trigo	28,4	Trigo	26,5
Veza	20,5	Veza	23,5

### Experimentación ITGA

En el ejemplo presentado en el esquema 1, se muestra cómo se puede conseguir una economía muy importante de nitrógeno cuando diversificamos los cultivos y evitamos repetir cereal tras cereal. De este modo conseguimos mejorar los balances energéticos de los cultivos muy significativamente.

**Gráfico 10. Evolución de las malas hierbas en cultivo de trigo según el cultivo precedente en la rotación. Beriain 2002.** (Fuente: Experimentación ITGA)



Del mismo modo, cuando diversificamos mejoramos las posibilidades de lucha contra malas hierbas, reduciendo el uso de herbicidas y por tanto el impacto medioambiental correspondiente.

## 6 Generación de empleo y localización de la actividad económica

---

Los cultivos energéticos pueden tener un impacto positivo en la economía del medio agrario al permitir movilizar las tierras retiradas de cultivo actualmente en España. Esto supone un incremento de la actividad económica significativo, tanto a nivel de suministros agrarios como de mantenimiento de empleo.

De un modo particular, la producción de biomasa exigirá el surgimiento de empresas de servicios para una buena logística en la recolección y suministro a las plantas de bioelectricidad de esta materia prima.

Previsiblemente, estas nuevas industrias de bioelectricidad se localizarán cerca de las áreas de producción, ofreciendo por tanto nuevos puestos de trabajo en el medio rural.

Cuando hablamos de biodiésel y bioetanol, sin embargo, la dependencia de la importación de semillas y de aceites hace que estas industrias no tengan tanto interés en el medio rural, privilegiando, en la ubicación de las plantas, criterios de buenas comunicaciones por carretera e, incluso, por barco.

No obstante, los industriales están viendo en el área de las energías de la biomasa una buena oportunidad de negocio, que creará nuevos empleos en los próximos años.

## CONCLUSIONES PRÁCTICAS. AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA CON LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS

**A modo de conclusión, y en el marco del ahorro y eficiencia energética (objeto central de esta línea editorial), aplicado a los cultivos energéticos, podemos decir:**

- ✓ El desarrollo de los cultivos de biomasa para energía pasa por un conocimiento profundo de sus balances energéticos y una exigencia de eficiencias energéticas significativamente positivas en la fase de cultivo, siendo la fertilización nitrogenada, el laboreo agrícola y la recolección y transporte los puntos de mayor consumo energético.
- ✓ El manejo de la fertilización nitrogenada es uno de los puntos clave para conseguir reducir las entradas de energía en los cultivos energéticos. Distintas estrategias de ahorro y eficiencia deberían ensayarse y ponerse a punto para los cultivos energéticos.
- ✓ La elección de los cultivos energéticos con criterios de diversificación en las parcelas agrícolas y en la explotación es una vía excelente para hacer de estos cultivos una opción sostenible, energética, económica y medioambientalmente.
- ✓ El desarrollo de la colza es muy importante si queremos una industria del biodiésel abastecida con materias primas producidas en nuestro medio agrario. Es necesaria experimentación a nivel local para mejorar la productividad y seguridad de este cultivo.
- ✓ La producción de biomasa para generación eléctrica y usos térmicos permite un desarrollo industrial más localizado en el medio rural, minimizando así el impacto del transporte.
- ✓ La producción de biomasa comercial ofrece un amplio margen de mejora en la logística de recolección, almacenamiento y transporte para reducir los costes económicos y energéticos.

# Bibliografía

- CENER. “*Cereal Straw resources for bioenergy in the European Union*”. Insitut for Environment and Sustainability. Pamplona. 18 y 19 octubre 2006.
- CIEMAT. “*Análisis del ciclo de vida Comparativo del Etanol de Cereales y la Gasolina*”. Energía y cambio climático.
- CIEMAT. “*Análisis del ciclo de vida Comparativo del biodiésel y el diésel*”. Energía y cambio climático.
- CIRIA, M.P. “*Biomasa de cultivos energéticos*”. Situación actual y futuro de la biomasa como recurso energético. Ciemat 25-29 sep. 2006.
- CIRIA, M.P. “*Biomasa procedente de los residuos de los cultivos*”. Situación actual y futuro de la biomasa como recurso energético. Ciemat 25-29 sep. 2006.
- CIRIA, M.P. “*Balance energético de los cultivos de biomasa*”. Jornadas técnicas de la contribución de la agricultura a la producción y uso sostenible de la energía. 2006.
- ESTEBAN, L.S. “*Recolección, astillado, molienda, secado y densificación de la biomasa*”. Situación actual y futuro de la biomasa como recurso energético. Ciemat 25-29 sep. 2006.
- FERNÁNDEZ, J. “*Dos cultivos energéticos alternativos para secano y regadío: cardo y patata*”. Tierras nº 133.
- GOÑI, J. y EGUILLOR, A. “*Girasol, ITGA, campaña y experimentación 2006*”. Navarra Agraria 161, marzo-abril 2007.
- GOÑI, J., LAFARGA, A. y EGUILLOR, A. “*Colza, ITGA, nuevas variedades para un cultivo que vuelve a estar de actualidad*”. Navarra Agraria 157, julio-agosto 2007.
- GOÑI, J. “*Cultivos para la producción de bioetanol, colza y girasol*”. Contribución de la agricultura a la producción y uso sostenible de la energía. Pamplona, 30 y 31 de mayo de 2006.

- IRAÑETA, I., ARMESTO, A.P., SEGURA, A., LAFARGA, A., ARREGUI, L.M., BAROJA, E. y QUEMADA, M. “*Herramientas de ayuda a la decisión para el manejo correcto de los fertilizantes nitrogenados en cereales de invierno*”. Navarra Agraria nº 133: 6-16. 2002.
- LAFARGA, A. “*Cultivos para la producción de biomasa*”. Contribución de la agricultura a la producción y uso sostenible de la energía. Pamplona, 30 y 31 de mayo de 2006.
- LAFARGA, A. y otros. “*Evaluación de los cultivos energéticos de verano en los regadíos del Valle del Ebro*”. 1998-2000.
- LASA, B., IRAÑETA, I., ARMESTO, A.P., SEGURA, A., LAFARGA, A., ARREGUI, L.M., MERINA, M., BAROJA, E. y QUEMADA, M. “*Herramientas de ayuda a la decisión para el manejo correcto de los fertilizantes nitrogenados en maíz*”. Navarra Agraria nº 138: 10-18. 2003.
- LÓPEZ-BELLIDO, L., LÓPEZ-BELLIDO, R.J., CASTILLO, J.E. y LÓPEZ-BELLIDO, F.J. “*Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed Mediterranean conditions*”. Agronomy Journal 92: 1054-1063. 2000.
- LUMBRERAS, O., LAFARGA, A., LABALETTE, F. y JACQUIN, J.C. “*Resultados y conclusiones del proyecto Bioelectricity, introducción de brásica carinata y triticale como biocombustibles en una planta de generación eléctrica en Sangüesa, Navarra*”. 2002-2005.
- NAREDO, J.M. y CAMPOS, P. “*Los balances energéticos de la agricultura española*”. En Agricultura y Sociedad, 15: 163-255. 1980.
- Plan Nacional de Energías Renovables. PER. 2006  
GOÑI, J. y EGUILLOR, A. “*Girasol, ITGA, campaña y experimentación 2006*”. Navarra Agraria 161, marzo-abril 2007.



Títulos publicados de la serie  
*Ahorro y Eficiencia Energética  
en la Agricultura:*

---

Nº Especial: *Consumos Energéticos en las Operaciones Agrícolas en España.* 2005

Tríptico promocional: *Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura.* 2005

Nº 1: *Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola.* 2005

Nº 2: *Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío.* 2005

Nº 3: *Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas.* 2005

Nº 4: *Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola.* 2006

Nº 5: *Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agrícola.* 2006

Nº 6: *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada.* 2007

Nº 7: *Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos.* 2008

Nº 8: *Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendigorriá.* 2008

Nº 9: *Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes.* 2008

Nº 10: *Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes.* 2008

Nº 11: *Ahorro y Eficiencia Energética en los Cultivos Energéticos y Agricultura.* 2008









**IDAE** Instituto para la  
Diversificación y  
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid  
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14  
comunicacion@idae.es  
www.idae.es



P.V.P.: 8 € (IVA incluido)