

Cultivos energéticos para biocombustibles

Julio 2012



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

SDI
SECRETARÍA DE
DESARROLLO INSTITUCIONAL



IDE
Instituto de
Energía



Equipo de Trabajo

Autor: Federico José Ossa Basañes

Dirección: Ing. Agr. M. Sc. Cecilia Rebora

Trabajo de revisión bibliográfica realizado para el IDE-UNCuyo;
dirigido por la Ing. Agr. M. Sc. Cecilia Rebora.

Julio 2012.

Índice:

Cultivos energéticos para biocombustibles

Introducción	4
--------------------	---

Cultivos para biodiesel

Introducción	5
El cultivo de palma	6
El cultivo de jatropha	8
El cultivo de cardo	11
El cultivo de ricino	13
El cultivo de colza	15
El cultivo de camelina	17
El cultivo de soja	19
El cultivo de girasol	21
Tabla resumen	23

Cultivos para bioetanol

Introducción	24
El cultivo de la caña de azúcar	25
El cultivo de remolacha azucarera	27
El cultivo de maíz	29
El cultivo de sorgo dulce	31
El cultivo de topinambur	33
Tabla resumen	35

Bibliografía	36
---------------------------	-----------

Fotos	41
--------------------	-----------

Cultivos energéticos para biocombustibles

Introducción

Los cultivos energéticos tratados en la revisión son aquellos a partir de los cuales se pueden obtener los biocombustibles. Estos pueden dividirse en 2, los cultivos que producen aceite y generan como producto final el biodiesel y los cultivos que producen alcohol a partir de la fermentación de hidratos de carbono, dando como producto final bioetanol (Míguez y Míguez, 2008).

Las principales fuerzas impulsoras de la producción de biocombustibles parecen ser la suba abrupta de los precios mundiales del petróleo, como resultado del desbalance entre la oferta y la demanda, problemas políticos y sociales en los países productores de petróleo y la preocupación de que las reservas son limitadas, otra de las fuerzas impulsoras es la seguridad del abastecimiento energético, sobre todo en países desarrollados que dependen en gran medida del petróleo que importan y buscan la manera de lograr una independencia energética, las preocupaciones sobre el calentamiento global es otra de las razones, los países están buscando energías renovables para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), uno de los mayores contribuidores con emisiones GEI es el transporte. Por último la creación de nuevas oportunidades para la agricultura, incluyendo en esta última la necesidad de encontrar un uso alternativo para las tierras de cultivo no utilizadas en los países desarrollados y para crear empleo y riqueza en el zonas rurales de países en desarrollo (Nogueira, 2011).

Cultivos energéticos para biocombustibles hay muchos, para esta revisión se seleccionaron los más importantes y aquellos que a priori presentaban características que les permitía un desarrollo en la región. Quedan muchos cultivos por desarrollar.

Los cultivos se presentarán divididos en 2 categorías, los destinados a biodiesel y los destinados a bioetanol. Dentro de éstas estarán ordenados de la siguiente manera, primero los perennes seguidos por los anuales de invierno y finalmente los anuales de verano. De cada cultivo se hará una pequeña introducción con datos generales, luego una descripción de la planta y necesidades edafológicas y climáticas de ésta, también se explicará como se obtiene el biocombustible y algunos datos referidos a éste, se informará la forma más común de implantar o sembrar el cultivo y los métodos más comunes de cosecha. Por último una tabla con algunos datos importantes del cultivo. Entre ellos el consumo de agua, expresados en milímetros de lluvia, empezando desde un valor mínimo por debajo del cual probablemente la especie no sobreviva, hasta un valor alto en la zona de cultivo, no necesariamente el máximo. Después viene el rendimiento del cultivo en toneladas por hectárea. Luego aparece el contenido de aceite en porcentaje (fruto y/o semilla) y el rendimiento en biodiesel por hectárea en los cultivos para este fin; y cantidad de alcohol obtenida por tonelada de materia fresca fermentada y litros de alcohol por hectárea, en los cultivos para bioetanol. Finalmente para todos vienen los criterios de sustentabilidad. El balance energético y las emisiones gases efecto invernadero (GEI) evitadas. El primero muestra la relación de energía que obtenemos del cultivo con respecto a la energía invertida en él. Valores de 1 significa que recuperamos la energía invertida, por debajo de éste estamos perdiendo energía y valores mayores a 1 significan que estamos ganando energía. El segundo indica en porcentaje, los gases efecto invernadero que evitamos emitir a la atmosfera, con respecto a si usáramos el combustible derivado del petróleo. Este dato es muy útil para determinar si usando esta fuente de energía podemos reducir el calentamiento global o empeorarlo.

Al final de cada biocombustible hay una tabla resumen donde se comparan todos los cultivos tratados respectivamente.

Cultivos para biodiesel

Introducción

La producción mundial de este biocombustible se encuentra concentrada en Europa. Los principales productores del mundo son, en primer lugar, Alemania, seguido por Francia, ambos países utilizan a la colza como cultivo energético. Siguen Estados Unidos, Brasil y la Argentina, que se ubica en el cuarto/quinto puesto de producción mundial de biodiesel, estos 3 últimos se basan en el cultivo de soja. El otro cultivo importante para la obtención de biodiesel es la palma aceitera, Indonesia y Malasia son los países más importantes en la actualidad en éste cultivo.

Aquellas especies cultivadas que acumulan aceite como sustancia de reserva en frutos y/o semillas se denominan cultivos oleaginosos. Estos cultivos tienen una mayor concentración de aceite que de proteína, entre ellos se encuentran, girasol y colza y son netamente “oleaginosos”. En cambio otros como la soja tienen más contenido de proteínas que de aceite y forma parte de los “proteoleaginosos” (Windauer y Ploschuk, 2006).

El proceso de elaboración de biodiesel está basado en la trans-esterificación de los glicéridos, utilizando catalizadores, generalmente hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH). El proceso es simple, se reemplaza el glicerol unido a los ácidos grasos por metanol o etanol, obteniéndose un ácido graso metiléster o etiléster, respectivamente. El producto finalmente obtenido es el biodiesel. Los aceites vegetales están compuestos mayoritariamente de triglicéridos. Por lo tanto se necesitan 3 partes de alcohol para llevar a cabo la reacción, aunque generalmente se trabaja con 6 a 9 partes de alcohol por una de aceite. La conversión de aceites en biodiesel es cercana a 1. Se recupera el glicerol como un subproducto. El biodiesel obtenido se puede utilizar directamente o en mezcla con el diesel obtenido del petróleo (Míguez y Míguez, 2008).

El cultivo de palma

La palma (*Elaeis guineensis*), de la familia de las Arecaceae, es originaria de África occidental, del golfo de Guinea. Es una especie tropical y se ha convertido en uno de los principales cultivos oleaginosos del mundo. Del fruto y la semilla se extrae el aceite de palma y de palmiste respectivamente, que tienen muchos usos, entre ellos como aceite de cocina, para usos industriales, y hoy en día para la producción de biodiesel. La producción de aceite de palma representa el 36% de la producción mundial de aceites vegetales. Malasia e Indonesia son responsables del 86% de la producción mundial de aceite de palma. El mayor productor en el continente americano es Colombia, con el 62% de la producción del continental (de Souza *et al.*, 2010).



Fig. 1: Cultivo de palmas de 6 años de edad.

La palma de aceite es un cultivo perenne, puede durar más de 50 años su vida productiva, aunque a partir de los 25-30 años se dificulta su cosecha por la altura del tallo, que llega a alcanzar los 20 metros, por lo que muchas veces dejan de ser rentables. La palma comienza



Fig. 2: Palma de 8 años, en producción.

a producir frutos a partir de los 2 años y medio de implantado y a los 5 años llega a la producción máxima (Pleanjai y Gheewala, 2009). Temperaturas mensuales de 25 a 28 °C en promedio son favorables. Temperaturas de 15°C detienen el crecimiento de las plántulas de vivero y disminuyen el rendimiento de las palmas adultas. La precipitación entre 1.800 y 2.200 mm es óptima, si está bien distribuida en todos los meses. La humedad relativa debe ser superior al 75%. La palma de aceite se adapta bien hasta alturas de 500 m sobre el nivel del mar. Se desarrolla en la zona ecuatorial, entre los 15° de latitud norte y 15° de latitud sur. Esta

especie es favorecida por suelos profundos, sueltos y con buen drenaje. Resiste niveles altos de acidez en el suelo, hasta pH 4, los suelos demasiado alcalinos le son perjudiciales (Sáenz Mejía, 2006).

Producción de biodiesel: El aceite se extrae del fruto maduro, de color rojo amarillento (Fig. 3), posee un rendimiento industrial que varía entre el 20 y 25% del peso fresco. Se obtienen entre 2800 y 6000 litros de biodiesel por hectárea.



Fig. 3: Frutos de la palma.

Para lograr el cultivo se suelen utilizar palmas de vivero de 12 meses de edad. Se debe efectuar el trasplante al principio de la época de lluvias evitando la siembra definitiva durante las temporadas demasiado lluviosas y al final de la época de lluvias. La densidad óptima es de 143 palmas por hectárea, lo que corresponde a una distancia entre las hileras de 7,8 m y la distancia entre las palmas es de 9 m. La cosecha es manual, y los rendimientos son de 20 a 28 toneladas por hectárea de racimos frescos (Sáenz Mejía, 2006), la cosecha se realiza cada 10-15 días o 2-3 veces por mes (Pleanjai y Gheewala, 2009).

Cultivo	Palma	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/año)	1500 -2200	Sáenz Mejía, 2006.
Biomasa (t/ha)	10 - 28	Sáenz Mejía, 2006; Kamahara, 2010; de Vries, 2010; Nogueira, 2011.
Contenido de aceite (%)	18 - 30	de Vries, 2010; de Souza <i>et al.</i> , 2010; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011; Visser <i>et al.</i> , 2011
Biodiesel (kg/ha)	2800 - 6000	Sáenz Mejía, 2006; Pleanjai y Gheewala, 2009; de Vries, 2010; de Souza <i>et al.</i> , 2010; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011.
Balance energético	2,4 - 5	Pleanjai y Gheewala, 2009; Kamahara, 2010; de Vries, 2010; de Souza <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011.
Emisiones GEI evitadas	41 - 71	Lechón <i>et al.</i> , 2009; de Vries, 2010; Nogueira, 2011.

El cultivo de jatropha

La jatropha (*Jatropha curcas* L.) pertenece a la familia Euphorbiaceae. Es una especie tropical, que puede ser cultivada en zonas de bajas y altas precipitaciones con fines comerciales o como cobertura para prevenir erosión. La madera y la fruta de *Jatropha* se pueden utilizar para numerosos fines incluyendo combustibles. Las semillas contienen un



Fig. 4: Cultivo de *Jatropha* en Venezuela.

viscoso aceite, que puede ser utilizado para la fabricación de velas, jabón, se usa en la industria de los cosméticos, también como un sustituto o mezcla de diesel. En la India se la utiliza como cerco vivo para la protección de los campos agrícolas del ganado vacuno y caprino. Es una especie que está siendo domesticada. El manejo agronómico para lograr el cultivo y rendimientos aceptables está siendo desarrollado para distintos suelos y condiciones climáticas (Srivastava *et al.*, 2011).

La jatropha es un árbol pequeño o arbusto grande, puede alcanzar una altura de tres a cinco metros, pero bajo condiciones favorables puede alcanzar una altura de 8 a 10 m. Puede vivir de 30 a 50 años (Wang *et al.*, 2011). Se encuentra distribuido ampliamente en América Central y del Sur, África, India y el Sudeste Asiático de manera silvestres o semi-cultivado. Esta especie es de hoja caduca, desprendiéndose las hojas en época de sequía. La floración ocurre durante la estación lluviosa y pueden ocurrir dos picos de floración, uno durante el verano y otro en el otoño. En las regiones húmedas la floración es de forma permanente durante todo el año. Las semillas maduran unos 3-4 meses después de la floración. Las semillas son de color negro y el peso de 1000 semillas es de aproximadamente 727 g. Las semillas son tóxicas, ya que contienen una proteína, similar a la ricina y ésteres de forbol. Necesitan un tratamiento previo para poder ser ingeridas por animales (Kumar y Sharma, 2008). Esta especie se adapta muy bien a las condiciones áridas y semiáridas, crece casi en cualquier lugar, con la excepción de las tierras anegadas. Puede prosperar en grava, arena y suelos salinos. En cuanto al clima, la *Jatropha* se encuentra en los trópicos y subtropicos y, prefiere el calor (Fig. 5), el rango óptimo de crecimiento es de 18 a 40 °C (Jingura *et al.*, 2011). Puede soportar temperaturas bajas y una helada

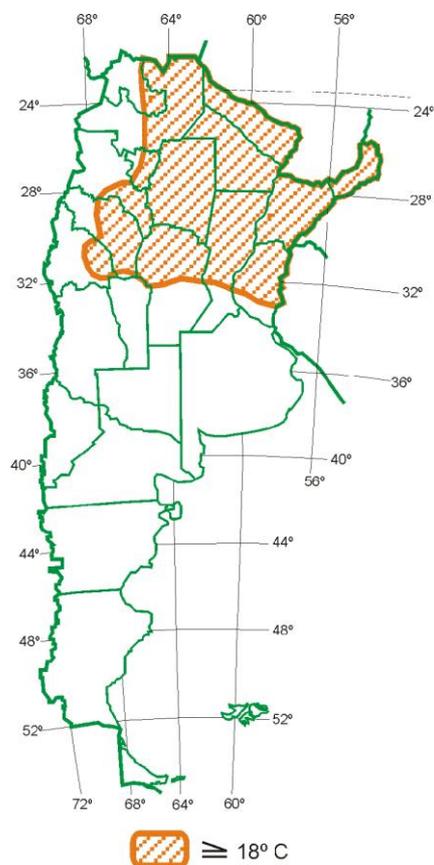


Fig. 5: Área delimitada por la isoterma media anual de 18 °C, apta para el cultivo de *J. curcas*.

ligera. En cuanto a los requerimientos hídricos se desarrolla bien en una amplia gama de regímenes de lluvias que van de 250 a más de 1200 mm por año. Resiste bien la sequía, si esta se prolonga puede perder las hojas para disminuir la transpiración (Kumar y Sharma, 2008).

Obtención de biodiesel: El aceite de *Jatropha* se puede utilizar como combustible en motores diesel, mezclándolo con metanol, proceso de trans-esterificación. El aceite de semilla de *Jatropha* se utilizó como un sustituto del diesel durante la Segunda Guerra Mundial (Kumar y Sharma, 2008). Las semillas contienen entre un 25 y 35 % de aceite. El aceite puede ser extraído por dos métodos, uno mecánico y el otro químico (Contran *et al.*, 2013). El rendimiento en biodiesel es aproximadamente del 92 % del aceite de *Jatropha* (Jingura, 2011). La torta resultante puede usarse como fertilizante, producción de biogas. Hay una variedad que no es tóxica y permitiría aprovechar la torta restante para alimentar ganado (Kumar *et al.*, 2011).



Fig. 6: Fruto y semilla de *Jatropha*.



Fig. 7: Tamaño de semilla de *Jatropha*.

Jatropha crece rápidamente a partir de semillas o esquejes, sin embargo, los árboles propagados por estacas muestran una baja longevidad y poseen una menor resistencia a la sequía y a las enfermedades que las propagadas por semillas. Esto puede deberse a que los árboles propagados por estaca no desarrollan una

raíz pivotante, y esta llega sólo a un tercio de la profundidad alcanzada por una *Jatropha* propagada por semillas. La distancia de plantación varía de una región a otra, un marco normal sería de 3 x 3 m, en el cual teóricamente se logran los mayores rendimientos. Estos van de 0,1 a 15 toneladas por hectárea (Kumar y Sharma, 2008). Los primeros años después de la siembra el rendimiento de la fruta es muy bajo, recién a partir del 5° año el rendimiento es constante (Wang *et al.*, 2011). El rendimiento bajo riego puede ser de 7500 kg por hectárea (Ariza-Montobbio y Lele, 2010).

En Argentina hay una especie del género *Jatropha*, *J. macrocarpa*. Esta especie tiene un área de distribución que comprende la región chaqueña. Está adaptada a condiciones áridas y puede soportar inviernos fríos, *J. curcas* sufre daños severos por debajo de -4 °C. Las características de *J. macrocarpa* son un contenido de aceite en la semilla que va de 36 a 46 % el cual es interesante. Sin embargo no es muy productiva y tiene frutos dehiscentes. Por lo que requiere de mejoramiento para poder ser aprovechada (Wassner *et al.*, 2012).

Cultivo	Jatropha	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	250 - 1200	Kumar y Sharma, 2008; Abou Kheira y Atta, 2009; Jingura <i>et al.</i> , 2011; Deeba <i>et al.</i> , 2012; Contran <i>et al.</i> , 2013.
Biomasa (t/ha)	0,1 - 15	Kumar y Sharma, 2008; Abou Kheira y Atta, 2009; Ariza-Montobbio y Lele, 2010; Nogueira, 2011; Jingura <i>et al.</i> , 2011; Wang <i>et al.</i> , 2011; Jingura, 2011; Contran <i>et al.</i> , 2013.
Contenido de aceite %	20 - 48	Abou Kheira y Atta, 2009; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011; Visser <i>et al.</i> , 2011; Jingura <i>et al.</i> , 2011; Wang <i>et al.</i> , 2011; Srivastava <i>et al.</i> , 2011; Jingura, 2011; Deeba <i>et al.</i> , 2012; Contran <i>et al.</i> , 2013.
Biodiesel (kg/ha)	350 - 1900	Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011
Balance energético	0,4 - 2,60	Wang <i>et al.</i> , 2011
Emisiones GEI evitadas	Sin dato	

El cultivo de cardo

El cardo (*Cynara cardunculus* L.), perteneciente a la familia de las Asteraceae, es originaria del Mediterráneo, ha sido cultivada para consumo humano desde la antigüedad, además tiene otros usos y productos; por ejemplo, se extrae aceite del fruto, las raíces son ricas en inulina, puede usarse el fruto del cardo para la alimentación animal, tiene algunas propiedades medicinales, muy apreciadas en Europa. Actualmente se estudia usar la biomasa para obtener energía y el aceite para la obtención de biodiesel (Raccuia y Melilli, 2007). El cardo en algunas regiones de América es considerado maleza, entre ellas Argentina (Ierna, 2012).



Fig. 8: Cultivo de cardo, para biomasa.

El cardo es una especie herbácea perenne, hay registros de plantaciones que llevan 15 años en producción. Posee un sistema radicular pivotante y profundo (Gominho *et al.*, 2011). En las poblaciones silvestres el carácter espinoso puede ser muy acusado. Los frutos son aquenios, a los que comúnmente se les denomina semillas. Es una planta adaptada al clima mediterráneo, pocas lluvias y de distribución irregular con veranos calidos y secos, el requerimiento hídrico sería de 400 mm anuales, el valor mínimo sería de 200 mm anuales (Fig. 9; Falasca y Ulberich, 2007). El control de malezas es muy importante el primer año, hasta que el cultivo cubra el suelo. A partir del segundo año el crecimiento del cardo es rápido y no es necesario el control de malezas. Es un cultivo muy resistente a plagas y enfermedades (Fernández, *et al.* 2006).

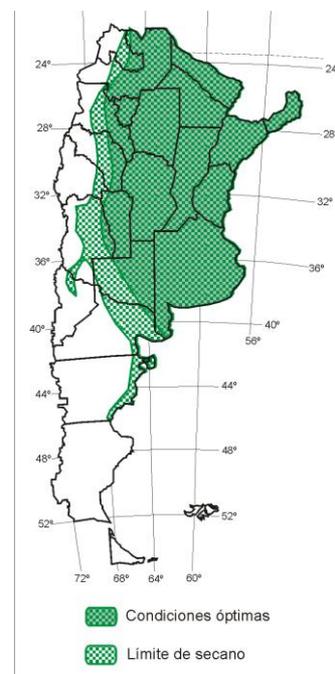


Fig. 9: Condiciones óptimas (400 mm de lluvia) para el cultivo de *Cynara cardunculus* y límite de cultivo en condiciones de sequo (200 mm de lluvia).

Producción de biodiesel: mediante la recolección del fruto producido por la planta y la posterior extracción y tratamiento de su aceite, el contenido de éste en la semilla es de 23 % (Raccuia, *et al.* 2011) y el máximo teórico es de 32%. La torta de semillas, que se forma luego de la extracción del aceite, puede ser utilizada para la alimentación animal. Además el uso de la biomasa seca producida tras su cultivo, sirve para la producción de calor o electricidad (Fernández *et al.*, 2006).

Las semillas germinan cuando la humedad del suelo se encuentre cerca de capacidad de campo y la temperatura del aire sea entre 15 y 25 °C (Fernández *et al.*, 2006). Las distancias de siembra recomendadas son de 0,75 a 0,80 m entre hileras y la distancia entre filas puede variar en función de la maquinaria disponible y la densidad de plantas deseada, la densidad recomendada es de 10.000 plantas por hectárea, la cantidad de semillas necesaria oscila entre 3 a 4 kg ha⁻¹ (Gominho *et al.*, 2011). Generalmente se realiza la siembra en otoño para que la roseta de hojas se desarrolle antes de que llegue el período de heladas. En las zonas con heladas otoñales muy tempranas se puede plantar en primavera, tan pronto haya terminado el riesgo de heladas, llegando el verano en estado de roseta y creciendo posteriormente en el otoño. Generalmente el primer año los rendimientos son bajos debido a que la estrategia de la planta es desarrollar un buen sistema radicular en el primer ciclo. La cosecha debe realizarse después de la finalización del ciclo de desarrollo, pero antes de la dispersión de semillas. La biomasa aérea debe estar seca (humedad cercana a 15%) y las semillas maduras. La mecanización de la cosecha está siendo desarrollada (Fernández *et al.*, 2006) Los rendimientos son entre 2 y 3 toneladas por hectárea (Falasca y Ulberich, 2007).



Fig. 10: Vista de una inflorescencia.

Cultivo	Cardo	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/año)	200 - 850	Fernández <i>et al.</i> , 2006; Raccuia y Melilli, 2007; Falasca y Ulberich, 2007; Gominho <i>et al.</i> , 2011; Ierna, 2012.
Biomasa (t/ha)	0,1 - 3	Fernández <i>et al.</i> , 2006; Raccuia y Melilli, 2007; Falasca y Ulberich, 2007; Gominho <i>et al.</i> , 2011; Ierna, 2012.
Contenido de aceite %	22- 32	Fernández <i>et al.</i> , 2006; Raccuia y Melilli, 2007; Falasca y Ulberich, 2007; Raccuia <i>et al.</i> , 2011; Gominho <i>et al.</i> , 2011; Ierna, 2010.
Biodiesel (kg/ha)	270 - 1520	Raccuia y Melilli, 2007.
Balance energético	Sin dato	
Emisiones GEI evitadas	Sin dato	

El cultivo de ricino

El ricino, tártago o castor (*Ricinus communis* L.) es una especie perteneciente a la familia de las Euphorbiaceae, originaria de África occidental e India. Las semillas de ricino son tóxicas para los seres humanos y animales ya que contienen la proteína ricina, aunque esta última se encuentra ausente en el aceite (Berman *et al.*, 2011). El aceite de ricino o castor



Fig. 11: Plantación de ricino en Indonesia.

es utilizado como insumo en más de 700 aplicaciones, entre ellas se incluyen usos medicinales y cosméticos. Además se utiliza en la producción de fibra óptica, vidrio a prueba de balas y prótesis óseas. También para la sustitución del petróleo en plásticos, lubricantes, como anticongelante para combustibles y lubricantes de aviones y cohetes espaciales (Falasca y Ulberich, 2006). El mayor productor mundial es la India, seguido por China y Brasil (Wassner, 2006).

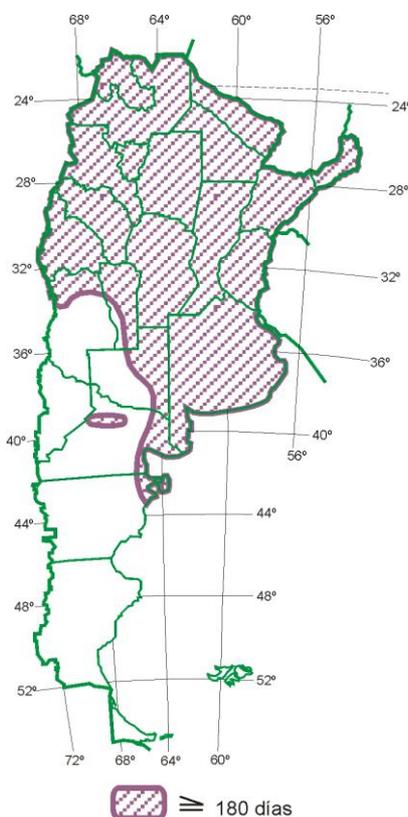


Fig. 12: Período libre de heladas.

El ricino es una oleaginosa perenne, 12 años aproximadamente, de porte arbustivo, puede alcanzar 10-13 m de altura, creciendo bajo condiciones de clima tropical, pero sólo de 1 a 3 m creciendo en clima templado (Wassner, 2006). Temperaturas superiores a 40 °C provocan aborto de flores, reversión sexual de flores femeninas a masculinas y reducción del rendimiento con la consiguiente merma en la producción de aceite. Temperaturas menores de 10 °C producen menor cantidad de semillas debido a la pérdida de viabilidad del polen. Las heladas de baja intensidad y duración corta son toleradas por el cultivo aunque pueden disminuir su rendimiento. Precisa de 140 a 180 días libres de heladas (ver Fig. 12). Soporta largos períodos de sequía, incluso en la fase de maduración de frutos. Sin embargo, produce semillas más livianas con menor porcentaje de aceite. Los suelos de su hábitat natural poseen buen drenaje, por lo que no tolera situaciones de anegamiento. Se desarrolla bien dentro del rango de pH de 4.5 a 8.3 (Falasca y Ulberich, 2006). Para lograr rendimientos aceptables se recomiendan precipitaciones mayores a 700 mm, y/o riego suplementario (Wassner, 2006).

Producción de biodiesel: El aceite de ricino es uno de los mejores para producir biodiesel, debido a que constituye la única fuente comercial de ácidos grasos hidroxilados, posee alrededor de un 85% o más de ácido ricinoleico (Baldwin y Cossar, 2009). Esto le permite ser soluble en metanol y etanol, siendo esto una ventaja para el proceso de trans-esterificación, debido a que no requiere grandes cantidades de calor para llevarlo a cabo, 30°C, ahorrando el gasto de energía que exigen otros aceites vegetales en este proceso indispensable para la producción de biodiesel. Los rendimientos en biodiesel esperables son aproximadamente 750 litros por hectárea (Lavanya *et al.*, 2012).



Fig. 13: Rama de ricino, con frutos.



Fig. 14: Semillas de ricino.

La fecha de siembra debe ser inmediatamente después que el peligro de heladas haya pasado, (Baldwin y Cossar, 2009). En regiones semiáridas de Brasil se utilizan densidades que van de 5.000 a 20.000 plantas por hectárea. En ambientes más húmedos se utilizan hasta 50.000 plantas por hectárea. El manejo del cultivo es versátil, éste puede ser tratado al ricino como especie perenne o como si fuera un cultivo anual, este último sobre todo en regiones con incidencias de heladas o con una estación seca muy marcada. La cosecha puede ser manual o mecánica (Wassner, 2006).

Cultivo	Ricino	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	400 - 1000	Wassner, 2006.
Biomasa (t/ha)	0,56 - 2,60	Wassner, 2006; Baldwin y Cossar, 2009; Nogueira, 2011; Berman <i>et al.</i> , 2011; Lavanya <i>et al.</i> , 2012.
Contenido de aceite %	40,8 - 50	Wassner, 2006; Baldwin y Cossar, 2009; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011; Visser <i>et al.</i> , 2011; Lavanya <i>et al.</i> , 2012.
Biodiesel (kg/ha)	260 - 1400	Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011; Lavanya <i>et al.</i> , 2012.
Balance energético	1	Nogueira, 2011.
Emisiones GEI evitadas	- 26 %	Nogueira, 2011.

El cultivo de colza

La colza (*Brassica napus* L.) de la familia Brassicaceae, es originaria de Europa y Asia. Es uno de los cultivos oleaginosos más importantes del mundo. Se cultiva fundamentalmente como fuente de aceite comestible, aunque también puede usarse con fines industriales. Al final de los setenta (1978) la industria del aceite de colza en Canadá, adoptó el nombre de canola (Canadian Oil Low Acid) para identificar a los cultivares de *B. napus* y *B. campestris* que genéticamente, tenían bajos niveles de ácido erúrico y de glucosinolatos. En otras regiones se las conoce como colzas doble cero "00". Esta fue una de las razones de la expansión del cultivo. Los principales productores son China, India, Canadá y la CEE que juntos concentran el 94% de la producción mundial (Gómez y Miralles, 2006).



Fig.15: Cultivo de colza.

La colza es una especie herbácea anual, con un sistema radicular conformado por una raíz principal pivotante y un gran número de raicillas secundarias fasciculadas. Los tallos son erectos ascendentes y ramificados, pudiendo alcanzar una altura de 1,50 m. El fruto es una silicua de 5 a 6 cm de longitud, recta y verde. Esta contiene de 20 a 25 granos esféricos de 2 a 2,5 mm de diámetro y de un color verde que cambia a castaño rojizo o negro al madurar (Fig. 16). Es una especie cuantitativa de día largo. Se cultivan dos tipos de colza las invernales y las primaverales. La primera requiere vernalización, requieren un elevado número de horas de frío para florecer, mientras que las primaverales no necesitan de este estímulo (Gómez y Miralles, 2006). El cultivo puede tolerar muy bajas temperaturas (-15°C) una vez que ha alcanzado el estado de "roseta" (5 a 6 hojas expandidas). Antes de este estado las bajas temperaturas causan daño. Heladas tardías ocasionan pocos daños en el cultivo (Camps y Marcos, 2002). Temperaturas altas (mayores a 29°C) en estados reproductivos provocan mermas en los rendimientos. La colza es un cultivo que requiere dosis relativamente altas de nutrientes para alcanzar rendimientos altos. Responde a la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre. Las malezas son un factor limitante. Por ello, es indispensable que el cultivo se mantenga libre de éstas durante las primeras etapas, hasta que su estructura permita una eficiente competencia con las malezas (Gómez y Miralles, 2006). Requiere como mínimo de 400 mm. Es resistente a la sequía durante el invierno. Aunque por el contrario es muy sensible al anegamiento. Por ello requiere suelos

drenados y profundos. El intervalo de pH óptimo del suelo está entre 5,5 y 7, incluso puede soportar bien hasta 7,7. Resiste un poco de salinidad (Camps y Marcos, 2002).

Obtención de biodiesel: Se extrae el aceite del grano (Fig. 16), que posee un contenido aproximado de entre 41 y 51 % de aceite, para extraerlo se hace un proceso muy similar al que se realiza en soja, el aceite bruto luego es sometido al proceso de transesterificación dando como producto el biodiesel. Como subproducto de la extracción de aceite, queda la harina de extracción con un contenido medio entre 36 y 44 % de proteína cruda. Que puede ser utilizada para la alimentación animal (Gómez y Miralles, 2006).



Fig. 16: Grano de colza.

La época de siembra de colza varía según la región y el cultivar elegido (invernal o primaveral). Normalmente las fechas están comprendidas entre abril y agosto. La densidad de siembra va de 40 a 120 plantas por metro cuadrado. La densidad más común es de 60 plantas m⁻². La distancia entre

hileras va de 15 a 60 cm, siendo una distancia de 30 cm la óptima. Se puede realizar colza en siembra directa, aunque hay que tener la precaución de que la semilla no quede a más de 2 cm de profundidad (Valetti, 2006). Existen 2 tipos de cosecha, corte-hilerado y posterior trillado o cosecha directa con o sin aplicación de desecante. El valor que indica el estándar de comercialización es de 10% de humedad. Este coincide con el momento oportuno de cosecha directa, ya que valores de humedad por encima de 10% el grano es altamente susceptible al daño mecánico, y por debajo de este valor se favorece el desgrane. Se pueden lograr rendimientos de hasta 4 toneladas por hectárea con porcentajes de aceite en el grano de un 51%. El rendimiento medio en Argentina es de 2 toneladas por hectárea (Gómez y Miralles, 2006).

Cultivo	Colza	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	400 - 850	Camps y Marcos, 2002; Gómez, 2011; Gasol <i>et al.</i> , 2012.
Biomasa (t/ha)	0,7 - 5	Camps y Marcos, 2002; Gómez y Miralles, 2006; Gómez <i>et al.</i> , 2006; Panoutsou <i>et al.</i> , 2008; de Vries, 2010; Nogueira, 2011; Gómez, 2011; Fore <i>et al.</i> , 2011; Gasol <i>et al.</i> , 2012.
Contenido de aceite %	37 - 51	Camps y Marcos, 2002; Gómez y Miralles, 2006; Gómez <i>et al.</i> , 2006; Panoutsou <i>et al.</i> , 2008; de Vries, 2010; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011; Gómez, 2011; Gasol <i>et al.</i> , 2012
Biodiesel (kg/ha)	500 - 1400	Gómez <i>et al.</i> , 2006; Panoutsou <i>et al.</i> , 2008; de Vries, 2010; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011; Gasol <i>et al.</i> , 2012.
Balance energético	1,78 - 2,2	de Vries, 2010; Fore <i>et al.</i> , 2011; Gasol <i>et al.</i> , 2012.
Emisiones GEI evitadas	12 - 59 %	Lechón <i>et al.</i> , 2009; de Vries, 2010.

El cultivo de camelina

Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crtz.) es una oleaginosa de la familia Brassicaceae, es una especie nativa de Europa del Norte y Asia central. Es un cultivo prometedor debido a la composición de ácidos grasos en el aceite, que se extrae de la semilla, estos ácidos grasos le dan características inusuales. Por ejemplo, es fuente de omega-3, que es un ácido graso que ayuda a reducir el colesterol en los humanos. También posee usos industriales, se usa en la obtención de pinturas, cosméticos y para biocombustibles (Vollmann *et al.*, 2007).



Fig. 17: Cultivo de camelina, parcela experimental, cátedra de Agricultura Especial, FCA, UNCuyo.

Camelina es un cultivo anual, que crece en invierno y primavera que esta adaptado a climas templados (Wu y Leung, 2011). Tiene varios atributos positivos entre ellos está que requiere de bajos insumos, fertilizantes y pesticidas, además es tolerante a bajas temperaturas. Posee un ciclo de cultivo corto (85-100 días) si se siembra en primavera; en cambio si se siembra en invierno el ciclo se puede extender a 200 días aproximadamente (Berti *et al.*, 2011). Crece bien en regiones semiáridas y en suelos de baja fertilidad o salinos (Moser y Vaughn, 2010). No tolera el anegamiento, por lo que los suelos deben tener buen drenaje. Necesita un mínimo de 330 mm de agua. No crece bien por encima de 25 °C (Berti *et al.*, 2011).

El contenido de aceite en la semilla está entre 32 y 48 %, los rendimientos van desde los 1070 a los 2850 kg por hectárea. Los



Fig. 18: Frutos de camelina, parcela experimental, cátedra de Agricultura Especial, FCA, UNCuyo.

rendimientos en aceite van de 480 a 1210 kg por hectárea (Vollmann *et al.*, 2007).

Necesita de 5°C para germinar, se necesitan 5 kg por hectárea para la siembra (Berti *et al.*, 2011).

Cultivo	Camelina	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	333 - 1500	Berti <i>et al.</i> , 2011.
Biomasa (t/ha)	0,42 - 3,3	Vollmann <i>et al.</i> , 2007; Berti <i>et al.</i> , 2011.
Contenido de aceite %	32 - 48	Vollmann <i>et al.</i> , 2007; Moser y Vaughn, 2010; Berti <i>et al.</i> , 2011; Wu y Leung, 2011.
Biodiesel (kg/ha)	420 - 1210	Vollmann <i>et al.</i> , 2007; Moser y Vaughn, 2010.
Balance energético	Sin dato	
Emisiones GEI evitadas	84 % ^{*1}	Berti <i>et al.</i> , 2011.

*1 Como combustible para aviones.

El cultivo de soja

La soja o soya (*Glycine max* (L.) Merr.) pertenece a la familia Fabaceae, es una especie originaria de Asia. Es uno de los cultivos más importantes del mundo, gracias a la semilla, que tiene un contenido medio en aceite y alto en proteína que la convierte en muy útil para la alimentación humana y animal. El aceite también puede usarse para biodiesel. Los principales países productores del mundo son Estados Unidos, Brasil y Argentina.



Fig. 19: Cultivo de soja.

Planta herbácea anual, de primavera-verano, cuyo ciclo vegetativo oscila de tres a siete meses. Los cultivares de soja se dividen en los grupos de madurez como forma de definir el tipo y velocidad de crecimiento. Se definen en forma numérica desde el 2 al 8. A medida que aumenta el número, también aumentan el tiempo necesario para que dicho cultivar de soja crezca, desarrolle ramas, flores, llene los granos y esté listo para cosechar. Es decir, un cultivar de grupo de madurez 5 requiere más tiempo para su

desarrollo que un cultivar de grupo de madurez 3. Para nuestra Región, los grupos de madurez a usar van del 4 al 7. Las temperaturas óptimas para el desarrollo de la soja están comprendidas entre los 20 y 34 °C. El crecimiento vegetativo de la soja es pequeño o casi nulo en presencia de temperaturas próximas o inferiores a 10°C, quedando frenado por debajo de los 4°C. Sin embargo, es capaz de resistir heladas de -2 a -4°C. Temperaturas superiores a los 40°C provocan un estrés térmico causando daños en la producción. Las temperaturas óptimas para la siembra oscilan entre los 15 y los 18°C. La soja es una planta de día corto cuantitativa. Durante el ciclo, la soja necesita como mínimo 300 mm de agua, pero para lograr rendimientos importantes se necesitan de 600 mm. Se desarrolla bien en suelos neutros o ligeramente ácidos, es especialmente sensible a la asfixia radicular, por lo que en los suelos de textura arcillosa con tendencia al anegamiento no es recomendable su cultivo. La soja es algo resistente a la salinidad. Las malezas históricamente fueron la principal limitante del desarrollo del cultivo de soja, a partir de la introducción del gen de resistencia al glifosato en la soja, este ha dejado de ser una limitante para el cultivo (Kantolic *et al.*, 2006). A medida que se extiende el uso continuo de un solo producto químico, en este caso glifosato, se genera una presión de selección sobre aquellas poblaciones de especies de malezas que resulten tolerantes o resistentes a dicho producto. Si estas poblaciones se reproducen exitosamente y colonizan el medio, su eliminación puede tornarse dificultosa, en la actualidad han aparecido algunas malezas problemáticas como la rama negra (*Conyza bonariensis*).



Fig. 20: Vaina y granos de soja.



Fig. 21: Cosecha de soja.

Obtención de biodiesel: La semilla está formada por un 40% de proteína y un 18 a 20% de aceite (Fig. 20). La extracción es igual a las otras especies oleaginosas, y la mayoría de las plantas extractoras de aceite en Argentina utilizan el proceso químico, con solvente (hexano). El aceite obtenido pasa al proceso de trans-esterificación y finalmente se obtiene el biodiesel. La harina de soja desgrasada es excelente para la alimentación animal, y es la harina proteica más usada por su calidad y alta digestibilidad. Aunque posee factores antinutricionales como los inhibidores de las proteasas, estos pueden ser desactivados mediante calor (Kantolic *et al.*, 2006).

La fecha de siembra va de septiembre a diciembre en Argentina, la distancia entre hileras es de 32 ó 52 cm y una densidad de 12 a 20 semillas en el metro lineal. La profundidad de siembra recomendada es de 2 a 4 cm. Se utiliza la técnica de siembra directa, y para ello se usan sembradoras de precisión. La cosecha también se realiza mecánicamente (Fig. 21; Kantolic *et al.*, 2006). Los rendimientos medios se encuentran alrededor de 2,5 toneladas por hectárea. Bajo riego y en óptimas condiciones se han logrado rendimientos de 7 toneladas por hectárea en Argentina (López Pereira *et al.*, 2006).

Cultivo	Soja	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	300 - 800	Frank y Viglizzo, 2012.
Biomasa (t/ha)	1,5 - 4	Kantolic <i>et al.</i> , 2006; Gómez <i>et al.</i> , 2006; de Vries, 2010; Nogueira, 2011; Fore <i>et al.</i> , 2011.
Contenido de aceite %	15 - 20,3	Kantolic <i>et al.</i> , 2006; Gómez <i>et al.</i> , 2006; de Vries, 2010; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011; Visser <i>et al.</i> , 2011.
Biodiesel (kg/ha)	500 - 1000	Gómez <i>et al.</i> , 2006; de Vries, 2010; Karmakar <i>et al.</i> , 2010; Nogueira, 2011.
Balance energético	1,1 - 3,3	de Vries, 2010; Nogueira, 2011; Borzoni, 2011; Fore <i>et al.</i> , 2011.
Emisiones GEI Evitadas	56 - 70	Lechón <i>et al.</i> , 2009; de Vries, 2010; Nogueira, 2011.

El cultivo de girasol

El girasol (*Helianthus annuus* L.) pertenece a la familia de las Asteraceae, es una especie originaria de América del Norte (Norte de México y Oeste de Estados Unidos). Se expandió por el mundo como cultivo ornamental y recién en el siglo pasado comenzó a ser aprovechado como un cultivo oleaginoso. El aceite de girasol es uno de los aceites vegetales más importantes del mundo, se lo utiliza en la industria alimentaria y en diversos productos comerciales y está demostrado que tiene potencial para la producción de biodiesel (Zheljazkov *et al.*, 2011).



Fig. 22: Campo de girasoles.

El girasol, es una planta anual, estival, que desarrolla un sistema radicular importante, un tallo recto que le permite alcanzar alturas de 2 m. La inflorescencia (capítulo) es un disco de 10 a 40 cm de diámetro, donde se ubican los frutos (aquenios) comúnmente denominados pipas (Fig. 23). El girasol está perfectamente adaptado a condiciones de estrés hídrico, posee una serie de mecanismos fisiológicos, como el ajuste osmótico, y la marchitez acelerada de las hojas inferiores, que le

permiten sortear estas condiciones desfavorables. El período crítico de requerimiento de agua se encuentra 20 días antes de floración a 20 días después del comienzo de ésta. Es una especie que requiere suelo profundo, drenado y aireado, un pH entre 5,7 y 8, tolera suelos calizos, pero presenta baja tolerancia a la salinidad (Camps y Marcos, 2002). Las enfermedades originan pérdidas importantes de rendimiento en este cultivo. Existen híbridos de girasol con resistencia genética a herbicidas de la familia de las imidazolinonas, esta tecnología se denomina “clearfield”, y permite un mejor control de malezas (López Pereira *et al.*, 2006).

Producción de biodiesel: Se extrae el aceite del grano, el cual primero es descascarado. Luego pasa a la etapa de molienda, en donde es prensado y además se realiza una extracción con hexano. Finalmente al aceite crudo obtenido se somete al proceso de trans-esterificación, para obtener biodiesel. De la extracción de aceite se obtienen subproductos, entre ellos una harina de elevado contenido proteico, que puede ser procesada en forma de torta (38 a 50 % de proteína) o expeler (50 a 60 % de proteína). El pericarpio o cáscara, separada al principio del proceso, puede ser utilizada como combustible o cama para pollos (López Pereira *et al.*, 2006).



Fig. 23: “Pipas”, frutos del girasol.

El girasol se siembra cuando la temperatura media del suelo sea de 8 a 10 °C, es importante evitar heladas durante el periodo de floración, momento de máxima sensibilidad, que ocurre aproximadamente 2 meses después de la siembra. Además hay que evitar altas temperaturas en floración y principio de maduración. Un atraso en la fecha de siembra, 45 a 60 días, disminuye el rendimiento potencial en un 40% (López Pereira et al 2006). La densidad oscila entre 30.000 a 90.000 plantas por hectárea, la máxima densidad es bajo riego y en un suelo fértil. Generalmente la distancia entre hileras es de 0,70 m, pero pueden ir desde 0,5 a 1 m. Es recomendable el uso de una sembradora de precisión. El momento óptimo de recolección está determinado por una humedad en la semilla del 11 %. Se cosecha mecánicamente (Camps y Marcos, 2002). El rendimiento promedio en Argentina es aproximadamente 2,1 toneladas por hectárea. El rendimiento potencial en condiciones óptimas está entre 4 y 6 t ha⁻¹ (López Pereira et al., 2006).



Fig. 24: Girasol bajo riego, Pivot central.

Cultivo	Girasol	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	300 - 800	Frank y Viglizzo, 2012.
Biomasa (t/ha)	0,3 - 3,2	Kallivroussis et al., 2002; Gómez et al., 2006; Panoutsou et al., 2008; Nogueira, 2011; Zheljzakov et al., 2011; Gómez, 2011.
Contenido de aceite %	38 - 50	Kallivroussis et al., 2002; Gómez et al., 2006; Panoutsou et al., 2008; Nogueira, 2011; Visser et al., 2011; Zheljzakov et al., 2011; Gómez, 2011.
Biodiesel (kg/ha)	200 - 1400	Gómez et al., 2006; Panoutsou et al., 2008; Karmakar et al., 2010; Zheljzakov et al., 2011..
Balance energético	3,76 - 5 * ¹	Kallivroussis et al., 2002; Panoutsou et al., 2008.
Emisiones GEI evitadas	53 - 65	Panoutsou et al., 2008; Lechón et al., 2009.

*¹ Balance del cultivo, no incluye la transformación en biodiesel.

Tabla resumen:

Cultivo	Requerimientos de agua (mm/año)	Biomasa (t/ha)	Contenido de aceite (%)	Biodiesel (kg/ha)	Balace energético	Emisiones GEI evitadas
Palma	1500 - 2200	10 - 28	18 - 30	2800 - 6000	2,4 - 5	41 - 71
Jatropha	250 - 1200	0,1 - 15	20 - 48	350 - 1900	0,4 - 2,60	Sin datos
Cardo	200 - 850	0,1 - 3	22 - 32	270 - 1520	Sin datos	Sin datos
Ricino	400 - 1000	0,56 - 2,6	40,8 - 50	260 - 1400	1	- 26 %
Colza	400 - 850	0,7 - 5	37 - 51	500 - 1400	1,78 - 2,2	12 - 59 %
Camelina	333 - 1500	0,42 - 3,3	32 - 48	420 - 1210	Sin datos	84 % ^{*2}
Soja	300 - 800	1,5 - 7	15 - 20,3	500 - 1000	1,1 - 3,3	56 - 70
Girasol	300 - 800	0,3 - 4	38 - 55	200 - 1400	3,76 - 5*	53 - 65

* Balance del cultivo, no incluye la transformación en biodiesel.

*² Como combustible para aviones.

Los cultivos para biodiesel presentados tienen algunas ventajas y desventajas, no hay un cultivo ideal. Todo depende de las condiciones en que los desarrollemos. En nuestra región, el cultivo de la palma no es viable. Es presentado por ser uno de los cultivos para biodiesel más importantes del mundo. El cultivo de jatropha es uno de los cultivos más nombrado en la actualidad, aunque es viable solo en algunas partes de nuestra región (Oeste de San Juan) ya que necesita temperaturas medias anuales mayores a 18°C. Hay una especie de jatropha, *J. macrocarpa* nativa de Argentina que podría servir para mejorar la resistencia al frío. El cardo es una maleza en nuestra zona, está adaptado a bajos insumos, podría adaptarse a condiciones de secano aún en nuestra región, y el hecho de que es perenne le da algunas ventajas. Aunque tiene el problema de bajos rendimientos en condiciones de secano marginales. El ricino también es una especie perenne, aunque puede manejarse como un cultivo anual, el aceite tiene muchos usos además del biodiesel. La colza y camelina son especies anuales de invierno, y por lo tanto no compiten con los cultivos tradicionales de verano, el primero es una alternativa muy interesante para biodiesel. Mientras que camelina tiene algunas características interesantes como un ciclo muy corto, y posee bajos requerimientos, aunque es un aceite con cualidades interesantes para la alimentación humana y por ello es más caro. Soja es el principal cultivo destinado para biodiesel en Argentina. Bajo riego se pueden obtenerse muy buenos rindes. El girasol, tiene características interesantes, aunque el aceite de éste es muy preciado para la industria alimentaria.

Cultivos para bioetanol

Introducción

El biocombustible de mayor importancia mundial es el etanol. La producción mundial está concentrada en dos países, Estados Unidos, el mayor productor mundial, que utiliza al maíz como cultivo energético para la obtención del bioetanol y Brasil que utiliza a la caña de azúcar como cultivo energético. El modelo brasileño es más eficiente que el estadounidense, por tener un precio menor el litro de etanol obtenido y además porque el margen energético del cultivo de caña de azúcar es mayor al del cultivo maíz. La Argentina todavía no desarrolla una industria importante en etanol, como si lo ha hecho en biodiesel (Míguez y Míguez, 2008).

Los cultivos energéticos para la obtención de etanol se dividen generalmente en “sacaríferos”, por ejemplo caña de azúcar, sorgo dulce y remolacha azucarera, y en “amiláceos”, por ejemplo maíz y topinambur. Los primeros pueden fermentarse directamente, en cambio en los últimos deben primero convertirse los azúcares complejos en simples. Una vez fermentado se destila, y el bioetanol obtenido se lo puede usar en mezcla con naftas o como sustituto de éstas.

El cultivo de la caña de azúcar

La caña de azúcar, (*Saccharum officinarum* L.) de la familia Poaceas es una especie originaria de Nueva Guinea en el sureste asiático, que se expandió por el mundo para la producción de azúcar, cerca del 80% de lo que se produce de azúcar proviene de esta especie. Además hoy en día se utilizan los productos y subproductos de la industria y cultivo para la obtención de papel y etanol. Brasil es el principal productor mundial y utiliza la caña de azúcar como principal fuente para la obtención de bioetanol.



Fig. 25: Cultivo de caña de azúcar.



Fig. 26: Tallos de caña de azúcar.

La caña es un cultivo de zonas tropicales y subtropicales, que necesita de climas cálidos (temperatura media anual de 20 °C) y húmedos para prosperar. Los cultivos comerciales duran entre 7 y 10 años. Para lograr buenos rindes se necesita de suelo drenado, profundo y franco, con pH óptimo en 6,5, suelos poco salinos. Requiere gran cantidad de agua, valores de 1100-1500 mm de agua por año se dan como valores mínimos.

Producción de bioetanol: se obtiene a partir de la fermentación del jugo que se extrae del tallo de la caña (Fig. 26), que posee entre un 12 a 16% de azúcar en peso

fresco. El bagazo, que es el residuo fibroso de la molienda de los tallos, se puede quemar para generar vapor y poder disminuir el uso de energía externa en la industria (Cardona *et al.*, 2005), similar a lo que sucede con el sorgo azucarado y el topinambur. El rendimiento es de 84,5 litros de bioetanol por cada tonelada de caña procesada (Borrero *et al.*, 2003). El balance energético es de 9,3:1, por cada unidad de energía fósil usada en el proceso se obtienen 9,3 unidades de energía renovable (Amorim *et al.*, 2011).



Fig. 27: Cosecha de caña de azúcar, Tucumán.

La plantación se realiza con tallos “semillas”, la implantación se realiza de mayo a septiembre con una distancia entre hileras de 1,6 m y en el surco una densidad de 15 a 25 yemas. El periodo de zafra (cosecha) se extiende desde mayo hasta noviembre, los rendimientos van desde 40 hasta 120 toneladas por hectárea. En la Argentina el rendimiento medio es de 65 toneladas por hectárea, en algunas zonas el rendimiento promedio se eleva y llega a 85 t/ha (Ferraro et al., 2009). La zafra puede ser manual o mecánica (Fig. 27).

Cultivo	Caña de azúcar	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/año)	1100-2500	
Biomasa (t/ha)	40-120	Sánchez y Cardona, 2008; Ferraro <i>et al.</i> , 2009; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010.
Etanol (l/t)	75-85	Borrero <i>et al.</i> , 2003; Cardona, 2005; Sánchez y Cardona, 2008; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010.
Etanol (l/ha)	5500-10000	Sánchez y Cardona, 2008; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010.
Balance energético	8 - 12	Sánchez y Cardona, 2008; Balat, 2009; Romero, 2010; Amorim <i>et al.</i> , 2011.
Emisiones GEI evitadas	85-90 %	Romero, 2010; de Vries 2010.

El cultivo de remolacha azucarera

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L. var. *Saccharifera*) es una especie de la familia de las Quenopodiácea, originaria de Europa y el norte de África, en el mundo se la utiliza para la obtención de azúcar en regiones templadas, donde no se puede cultivar la caña de azúcar, y en la actualidad también se la utiliza para la producción de bioetanol, principalmente en Europa, donde es el principal cultivo para obtener etanol (Balat, 2009).



Fig. 28: Cultivo de remolacha.

Es una planta bianual que durante el primer ciclo de su desarrollo produce una raíz con alto contenido de sacarosa de 15 a 20% en peso (Dodić *et al.*, 2009) y en el segundo ciclo desarrolla un tallo floral, yemas, flores y semillas. Para su desarrollo requiere suelos francos, que no ofrezcan resistencia al crecimiento de la raíz, necesita además suelos con buena retención de agua, ya que es exigente en este recurso, prefiere suelos neutros, pH cercano a 7, aunque se desarrolla bien en suelos con valores de pH comprendidos entre 8 y 8,5. La remolacha soporta bien los suelos con salinidad y altos valores de sodio. Es resistente a heladas, aun en la fase más delicada del cultivo puede tolerar temperaturas de hasta -5 °C (Paramio Nieto, 2007).

Producción de bioetanol: el proceso de obtención comienza con el lavado y trozado fino de las raíces, luego con agua a 70°C de temperatura se disuelven lentamente los azúcares, una vez obtenido este jugo, sigue un proceso similar al de la caña de azúcar, fermentación, destilación y deshidratación, dando finalmente bioetanol, 11 litros por cada 100 kg de remolacha (İçöz *et al.*, 2009). Tiene la desventaja frente a la caña de azúcar o el sorgo dulce, de que no puede generar la energía que requiere su procesamiento a partir de la quema de sus rastrojos, bagazos, porque éstos no son suficientes. Por ello, en su producción deberá incluirse el consumo energético (electricidad y calor) tanto para su procesamiento como para el secado de la torta húmeda que queda, luego de separar el jugo, que puede ser vendida como alimento para ganado.



Fig. 29: Planta de remolacha arrancada del suelo.

La densidad de siembra recomendada es de 77.000 a 120.000 plantas por hectárea (Kenter, 2006) con una separación entre hileras de 50 cm y a una profundidad de entre 1,5 y 2 cm. Los rendimientos oscilan entre 50 y 120 t/ha (Fabeiro *et al.*, 2003). Se puede realizar cosecha mecánica, en Europa hay máquinas autopropulsadas que facilitan la cosecha y recolección (Fig. 30).



Fig. 30: Cosechadora autopropulsada de 6 líneas con tolva.

Cultivo	Remolacha azucarera	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	600-1000	Kenter, 2006; Gómez, 2011.
Biomasa (t/ha)	40-120	Fabeiro, 2003; İçöz, 2009; Balat, 2009; de Vries, 2010; Gómez, 2011.
Etanol (l/t)	90-110	Sánchez y Cardona, 2008; İçöz, 2009; de Vries, 2010; Romero, 2010.
Etanol (l/ha)	3500 - 6600	Sánchez y Cardona, 2008; İçöz, 2009; Balat, 2009; de Vries, 2010; Romero, 2010.
Balance energético	1,2-2,1	Sánchez y Cardona, 2008; de Vries, 2010; Romero, 2010.
Emisiones GEI evitadas	35-55 %	Romero, 2010; de Vries, 2010.

El cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es una gramínea nativa de América, es uno de los cereales que más se cultiva en el mundo. Es muy importante en la alimentación humana y también en la alimentación animal. El aprovechamiento industrial está muy desarrollado, hay 2 formas de molienda, húmeda y seca, que darán origen a distintos productos por ejemplo: almidón, aceite, fructosa, glucosa, dextrosa, sémolas y productos de molienda de distinta granulometría. Estados Unidos es el principal productor mundial, y utiliza el maíz como cultivo principal para la producción de bioetanol.



Fig. 31: Cultivo de maíz.

El maíz es una planta monoica, sus inflorescencias masculinas y femeninas se encuentran en la misma planta. Es una especie C4, anual, estival, la temperatura base de germinación es de 10 °C, por debajo de la cual se dificulta su crecimiento (Mroginski *et al.*, 2010). En condiciones óptimas (30 °C) el crecimiento es rápido, esto le permite alcanzar alturas de 2,5 m, con un tallo erguido, rígido y sólido. Temperaturas superiores a 35 °C pueden provocar estrés térmico, y mermas en los rendimientos (Mayer y Maddonni, 2010). Requiere suelos francos, profundos y ricos en materia orgánica, el pH de los suelos debe ser levemente ácido preferentemente entre 6 y 7. El consumo de agua va desde los 480 a 900 mm, es muy importante evitar el estrés hídrico en floración, que es el periodo crítico para la fijación de los granos (Maddonni, 2010).



Fig. 32: Grano de maíz.

Producción de bioetanol: a partir de una tonelada de grano de maíz pueden obtenerse 420 litros de bioetanol. Si bien es uno de los cultivos que más alcohol da por tonelada, es muy discutido por el valor de su balance energético, que en promedio es muy cercano a 1. Además los valores de gases efecto invernadero liberados a la atmósfera son iguales e incluso mayores al del uso de la nafta, lo que pone en duda la sustentabilidad del cultivo como energético para la obtención de bioetanol (de Vries, 2010).

Se siembra a partir de los meses de agosto y septiembre o cuando la temperatura de suelo sea superior a 10 °C, en siembra directa se deben lograr entre 40 mil a 90 mil plantas por hectárea, los surcos se distancian 52 cm a 70 cm (Canteros y Chaila, 2010). La cosecha va desde marzo a mayo, se comienza a cosechar con una humedad de grano de 25%, los rendimientos van desde 5 a 15 toneladas por hectárea. Se cosecha mecánicamente (Fig.33)



Fig. 33: Cosecha de maíz.

Cultivo	Maíz (grano)	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	480 - 900	Romero, 2010; Gómez, 2011; Grassini, 2011; Singh y Kumar, 2011; Frank y Viglizzo, 2012.
Biomasa (t/ha)	5 - 15	Sánchez y Cardona, 2008; Ziska, 2009; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010; Gómez, 2011; Grassini, 2011; Singh y Kumar, 2011.
Etanol (l/t)	360 - 460	Cardona, 2005; Sánchez y Cardona, 2008; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010; Gómez, 2011; Singh y Kumar, 2011.
Etanol (l/ha)	2050 - 6000	Sánchez y Cardona, 2008; Ziska, 2009; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010.
Balance energético	0,6-2	Sánchez y Cardona, 2008; Romero, 2010; de Vries, 2010.
Emisiones GEI evitadas	-30 a 20 %	Romero, 2010; de Vries, 2010.

El cultivo de sorgo dulce

El sorgo dulce, azucarado o sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es nativo de África, es un cultivo multifuncional, se lo utiliza principalmente para la obtención de forrajes y para la producción de grano con destino a la alimentación animal. Además de otros fines industriales, entre ellos la obtención de bioetanol.



Fig. 34: Cultivo de sorgo en floración en Beijing, China.

Es un cultivo muy plástico, puede producirse en todos los continentes, tanto en regiones tropicales, subtropicales y templadas, en tierras de mediana y baja aptitud agrícola, y especialmente apto para regiones con escasa pluviometría. El límite austral estaría dado por un periodo libre de heladas de 180 días y la isoterma media anual de 14 °C. (Romero, 2010). El cultivo tiene un ciclo de producción corto (3-5 meses), es eficiente en el uso del agua, es tolerante a sequía y posee cierta tolerancia a salinidad. Por ser una especie C4, es un eficiente convertidor de la energía solar en biomasa, aún con bajos insumos produce una gran cantidad de carbohidratos (Monti y Zegada-Lizarazu, 2012).



Fig. 35: Tallos de sorgo, una vez finalizada la extracción de los azúcares.

La producción de bioetanol comienza mediante la extracción y procesado de los azúcares contenidos en el tallo de la planta, proceso muy similar al de la caña de azúcar, que luego son fermentados para producir bioetanol. Además la generación térmica o eléctrica: a través del uso de la biomasa seca (rastrojo) producida tras su cultivo, y el bagazo, resto de la molienda de los tallos para la extracción del jugo azucarado (Fig. 35).

Para la siembra se emplean máquinas sembradoras de grano fino. La densidad recomendada es de 120.000 a 160.000 plantas por hectárea con una separación entre hileras de 32 ó 48 cm. (Casen, 2010). El momento oportuno de cosecha se encuentra a partir de la fase de grano pastoso, con un rendimiento de entre 35 y 80 toneladas por hectárea (Bennett y Adex, 2009). Experiencias en Salta y Tucumán dieron por resultado valores de entre 50 y 77 t/ha (Casen *et al.*, 2010), los valores de azúcares fermentescibles totales (AFT) en los tallos varían entre los 14 y 19% AFT, dando entre 59 y 68 litros de alcohol por tonelada de tallos de sorgo azucarado (De Boeck *et al.*, 2010). Se puede realizar la cosecha de forma mecanizada, con cosechadoras integrales de caña de azúcar, sin grandes modificaciones, siendo que para esta última existen máquinas en el mercado y podrían usarse antes del comienzo de la zafra (Casen *et al.*, 2010).



Fig. 36: Cosechadora de caña adaptada para la cosecha de sorgo.

Cultivo	Sorgo dulce	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	300 - 700	De Boeck <i>et al.</i> , 2010; Gómez, 2011; Monti y Zegada-Lizarazu, 2012.
Biomasa (t/ha)	35 - 80	Sánchez y Cardona, 2008; Bennett y Adex, 2009; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010; Monti y Zegada-Lizarazu, 2012.
Etanol (l/t)	40 - 87	Sánchez y Cardona, 2008; Balat, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010; Monti y Zegada-Lizarazu, 2012.
Etanol (l/ha)	2500 - 9030	Sánchez y Cardona, 2008; Balat, 2009; Bennett y Adex, 2009; Romero, 2010; de Vries, 2010; Monti y Zegada-Lizarazu, 2012.
Balace energético	5 - 8	Romero, 2010; de Vries, 2010.
Emisiones GEI evitadas	60 -70 %	Romero, 2010; de Vries, 2010.

El cultivo de topinambur

El topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) pertenece a la familia de las Asteráceas, es una especie originaria de América del Norte. Entre los usos que se le pueden dar se encuentra el hortícola, forrajero e industrial para extracción de inulina y la producción de etanol.



Fig. 37: Cultivo de topinambur.

El topinambur es un cultivo anual, estival, del cual se aprovechan principalmente los tubérculos que pueden ser blancos, blanco-rojizos y rojos; la planta posee tallos ramificados que pueden alcanzar 2 a 3 metros de altura, produce tallos subterráneos, tubérculos (Fig. 38) muy ricos en carbohidratos, que permiten la reproducción agámica. Es una especie con altos requerimientos de potasio, nitrógeno y calcio, es medianamente resistente a sequía aunque tiene dos períodos que presentan sensibilidad frente a un estrés hídrico: la emergencia del cultivo y el crecimiento de los tubérculos. Es un cultivo considerado rústico por lo que malezas, insectos y enfermedades no le ocasionan problemas importantes. En el mundo hay muchas variedades difundidas, pero en nuestro país no hay variedades registradas, ni una caracterización de los materiales disponibles en relación a los usos del cultivo (Rebora, 2008). Tiene la capacidad de acumular metales pesados como cadmio, zinc, níquel, cobre y plomo, por lo que puede usarse para bioremediación de tierras contaminadas con estos (Kays y Nottingham, 2008), y el uso de aguas residuales para su riego.

Producción de bioetanol, a partir de 50 toneladas de tubérculos de *Helianthus tuberosus* L. pueden obtenerse 4.500 litros de etanol. La parte aérea seca, puede emplearse como energía para la obtención del bioetanol (Lelio, 2009), similar a lo que ocurre con el sorgo y la caña de azúcar.

La plantación se realiza en primavera temprana, la temperatura mínima a



Fig. 38: Tubérculos de topinambur.

partir de la cual empieza la brotación está situada alrededor de los 5 °C, las densidades del cultivo varían entre 20.000 a 50.000 plantas por hectárea, con un marco de plantación de 70-80 cm entre hileras y de 30 a 50 cm entre plantas (Rebora, 2011), la misma se realiza con tubérculos semilla enteros o trozados, de un peso óptimo aproximado de 50 g. El ciclo del cultivo varía entre los 100 y los 270 días. Los rendimientos varían entre 30 y 130 toneladas por hectárea, hay experiencias locales de rendimientos de 144 y 177 toneladas por hectárea con riego de agua subterránea y de agua residual urbana respectivamente (Lelio, 2009). La cosecha puede realizarse con máquinas arrancadoras-recolectoras de papas, previa eliminación de la parte aérea.

Cultivo	Topinambur	Bibliografía
Requerimientos de agua (mm/ciclo)	550 - 1600	Rebora, 2008; Kays y Nottingham, 2008.
Biomasa (t/ha)	30-130	Thuesombat 2007; Kays y Nottingham, 2008; Rebora, 2008; Lelio, 2009.
Etanol (l/t)	80-100	Curt, 2006; Kays y Nottingham, 2008; Rebora, 2010.
Etanol (l/ha)	2500-7500	Curt, 2006; Kays y Nottingham, 2008; Rebora, 2010.
Balance energético	8-11*1	Rebora, 2010.
Emisiones GEI evitadas	Sin datos	Sin Datos

*1 El balance energético considerado es el de cultivo, no incluye la transformación a bioetanol.

Tabla resumen:

Cultivo	Caña de azúcar	Maíz (grano)	Sorgo dulce	Remolacha azucarera	Topinambur
Requerimientos de agua (mm/año)	1100 - 2500	480 - 900	300 - 700	600 - 1000	550 - 1600
Biomasa (t/ha)	40 - 120	5 - 15	35 - 80	40 - 120	30 - 130
Etanol (l/t)	75 - 85	360 - 460	40 - 87	90 - 110	80 - 100
Etanol (l/ha)	5500 - 10000	2050 - 6000	2500 - 9030	3500 - 6600	2500 - 7500
Balance energético	8 - 12	0,6 - 2	5 - 8	1,2 - 2,1	8-11* ¹
Emisiones GEI evitadas	85 - 90 %	-30 - 20 %	60 - 70 %	35 - 55 %	Sin datos

*¹ El balance energético considerado es el de cultivo, no incluye la transformación a bioetanol.

De los cultivos energéticos para la obtención de bioetanol expuestos, la caña de azúcar no puede realizarse en la región de Cuyo, pero a nivel mundial y en el norte Argentino tiene mucha importancia. El maíz es muy importante a nivel mundial, la Argentina es un país productor, pero localmente no está muy desarrollado. El sorgo dulce es una muy buena opción por ser rústico y de altos rendimientos. La remolacha también tiene características interesantes, aunque requiere de rotaciones de más de 2 años, para evitar plagas y enfermedades, principalmente nemátodos. El topinambur es interesante porque además del bioetanol obtenido se pueden usar los restos del cultivo como fuente de energía calórica.

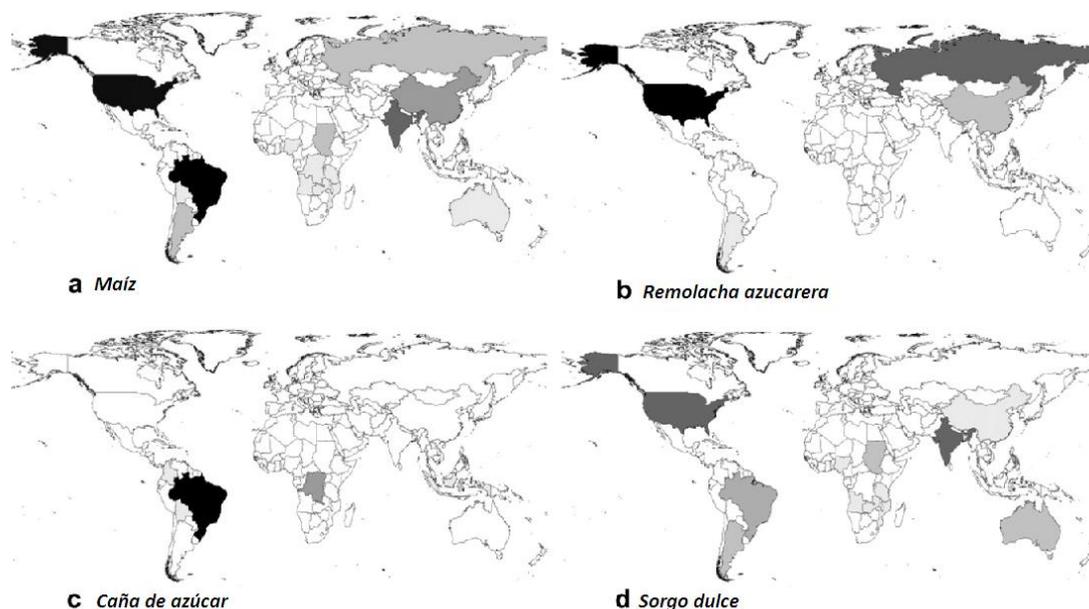


Fig. 39: Las áreas aptas para los principales cultivos energéticos destinados a la obtención de bioetanol en el mundo. La escala de grises es proporcional a la cantidad de zonas adecuadas para cada cultivo, mientras más oscuro el potencial es mayor.

Bibliografía

- Abou Kheira, A. A.; Atta, N. M. M. 2009. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy*, Volume 33, 10: 1343-1350.

- Amorim, H; Lopes, M; Vélasco de Castro Oliveira, J; Buckeridge, M; Goldman, G. 2011. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Volume 91, 5: 1267-1275.

- Ariza-Montobbio, P.; Lele, S. 2010. *Jatropha* plantations for biodiesel in Tamil Nadu, India: Viability, livelihood trade-offs, and latent conflict. *Ecological Economics*, Volume 70, 2: 189-195.

- Balat, M.; Balat, H. 2009. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Applied Energy*, Volume 86, 11: 2273-2282.

- Baldwin, B. S.; Cossar, R. D. 2009. Castor yield in response to planting date at four locations in the south-central United States. *Industrial Crops and Products*, Volume 29, 2-3: 316-319.

- Bennett, A. S.; Anex, R. P. 2009. Production, transportation and milling costs of sweet sorghum as a feedstock for centralized bioethanol production in the upper Midwest. *Bioresource Technology*, Volume 100, 4: 1595-1607.

- Berman, P.; Nizri, S.; Wiesman, Z. 2011. Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 7: 2861-2866.

- Berti, M.; Wilckens, R.; Fischer, S.; Solis, A.; Johnson, B. 2011. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile. *Industrial Crops and Products*, Volume 34, 2: 1358-1365.

- Borrero, M. A. V.; Pereira, J. T. V.; Miranda, E.E. 2003. An environmental management method for sugar cane alcohol production in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, Volume 25, 3: 287-299.

- Borzoni, M. 2011. Multi-scale integrated assessment of soybean biodiesel in Brazil. *Ecological Economics*, Volume 70, 11: 2028-2038.

- C. Fabeiro; Martín de Santa Olalla, F; López, R.; Domínguez, A. 2003. Production and quality of the sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, Volume 62, 3: 215-227.

- Camps M.; Marcos, F. 2002. Capítulo 8: El cultivo de la colza y el girasol. En *Los biocombustibles*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, p 273-300.

- Canteros F. H.; Chaila S. 2010. Efecto de la densidad y la distancia entre surcos sobre el rendimiento y sus componentes en maíz (*Zea mays* L.). En: IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, 2010: 52-53.

- Cardona, C; Sánchez, O; Montoya, M; Quintero, J. 2005. Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. *Scientia Et Technica*, Volume XI, Núm 28: 187-192.

- Casen, S. D.; Fernandez González, P.; Sánchez Ducca, A.; Tonatto, J.; Romero, E. 2010. Evaluación de la cosecha mecanizada de sorgo azucarado con maquinas integrales de caña de azúcar. En: IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, 2010: 405-407.

- Casen, S. D.; Fernandez González, P.; Sánchez Ducca, A.; Tonatto, J.; De Boeck, G; Romero, E. 2010. Estudio del comportamiento de variedades de sorgo azucarado con aptitud alcohólica de primera generación. En: IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, 2010: 401-402.

- Contran, N.; Chessa, L.; Lubino, M.; Bellavite, D.; Roggero, P. P.; Enne, G. 2013. State-of-the-art of the *Jatropha curcas* productive chain: From sowing to biodiesel and by-products. *Industrial Crops and Products*, Volume 42: 202-215.
- Curt, M. D.; Aguado, P.; Sanz, M.; Sánchez, G.; Fernández, J. 2006. Clone precocity and the use of *Helianthus tuberosus* L. stems for bioethanol. *Industrial Crops and Products*, Volume 24, 3: 314-320.
- De Boeck G.; Romero E. R.; Casen, S. D.; Ruiz M, Zossi s.; Gusils C.; Fernandez González, P.; Sánchez Ducca, A.; Cárdenas, G. 2010. Aptitud bioenergética de variedades de sorgo azucarado. En: IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, 2010: 410-413.
- De Souza, S. P.; Pacca, S.; Turra de Ávila, M.; Borges, J. L. B. 2010. Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. *Renewable Energy*, Volume 35, 11: 2552-2561.
- De Vries, S. C.; van de Ven, G. W. J.; van Ittersum, M. K.; Giller, K. E. 2010. Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques. *Biomass and Bioenergy*, Volume 34, 5: 588-601.
- Deeba, F.; Kumar, V.; Gautam, K.; Saxena, R. K.; Sharma, D. K. 2012. Bioprocessing of *Jatropha curcas* seed oil and deoiled seed hulls for the production of biodiesel and biogas. *Biomass and Bioenergy*, Volume 40: 13-18.
- Dodić, S.; Popov, S.; Dodić, J.; Ranković, J.; Zavargo, Z.; Jevtić Mučibabić, R. 2009. Bioethanol production from thick juice as intermediate of sugar beet processing. *Biomass and Bioenergy*, Volume 33, 5: 822-827.
- Falasca S.; Ulberich, A. 2007. ¿Una plaga nacional utilizable como cultivo energético en áreas semidesérticas de Argentina?. Consultado en: <http://biodiesel.com.ar/2618/una-plaga-nacional-utilizable-como-cultivo-energetico-en-reas-semidesrticas-de-argentina>
- Falasca, S.; Ulberich, A. 2006. Potencial de Argentina para la producción de tartago (*Ricinus Communis var communis*). Consultado en <http://www.biodiesel.com.ar/2631/potencial-de-argentina-para-la-produccion-de-tartago>
- Falasca, S.; Ulberich, A. 2010. Posibilidades de éxito de *Jatropha curcas* L. En Argentina. Consultado en: <http://biodiesel.com.ar/2639/posibilidades-de-xito-de-jatropha-curcas-en-la-argentina>
- Fernández, J.; Curt, M. D.; Aguado, P. L. 2006. Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses. *Industrial Crops and Products*. Volume 24, 3: 222-229.
- Ferraro, D; Rivero, D; Ghersa, C. 2009. An analysis of the factors that influence sugarcane yield in Northern Argentina using classification and regression trees. *Field Crops Research*, Volume 112, 2-3: 149-157.
- Fore, S. R.; Porter, P.; Lazarus, W. 2011. Net energy balance of small-scale on-farm biodiesel production from canola and soybean. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 5: 2234-2244.
- Frank, F. C.; Viglizzo, E. F. 2012. Water use in rain-fed farming at different scales in the Pampas of Argentina. *Agricultural Systems*, Volume 109: 35-42.
- Gasol, C. M.; Salvia, J.; Serra, J.; Antón, A.; Sevigne, E.; Rieradevall, J.; Gabarrell, X. 2012. A life cycle assessment of biodiesel production from winter rape grown in Southern Europe. *Biomass and Bioenergy*, Volume 40: 71-81.
- Gómez, A.; Rodrigues, M.; Montañés, C.; Dopazo, C.; Fueyo, N. 2011. The technical potential of first-generation biofuels obtained from energy crops in Spain. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 5: 2143-2155.
- Gómez, N. V.; Agosti, M. B.; Miralles, D. J. 2006. Colza-Canola como alternativa para producir biocombustible: fortalezas y debilidades. En *Bioenergía 2006 avances y perspectivas*, Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires p: 39-55.

- Gómez, N. V.; Miralles, D. J. 2006. Colza. En Cultivos industriales, Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires p: 181-216.
- Gominho, J.; Lourenço, A.; Palma, P.; Lourenço, M. E.; Curt, M. D.; Fernández, J.; Pereira, H. 2011 Large scale cultivation of *Cynara cardunculus* L. for biomass production, a case study. *Industrial Crops and Products*, Volume 33, 1: 1-6.
- Grassini, P.; Yang, H.; Irmak, S.; Thorburn, J.; Burr, C.; Cassman, K. G. 2011. High-yield irrigated maize in the Western U.S. Corn Belt: II. Irrigation management and crop water productivity. *Field Crops Research*, Volume 120, 1: 133-141.
- İçöz, E.; Mehmet Tuğrul, K.; Saral, A.; İçöz, E. 2009. Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey. *Biomass and Bioenergy*, Volume 33, 1: 1-7.
- Ierna, A.; Mauro, R. P.; Mauromicale, G. 2012. Biomass, grain and energy yield in *Cynara cardunculus* L. as affected by fertilization, genotype and harvest time. *Biomass and Bioenergy*, Volume 36, p 404-410.
- Ierna, A.; Mauromicale, G. 2010. *Cynara cardunculus* L. genotypes as a crop for energy purposes in a Mediterranean environment. *Biomass and Bioenergy*, Volume 34, 5: 754-760.
- Jingura, R. M. 2011. Technical options for optimization of production of *Jatropha* as a biofuel feedstock in arid and semi-arid areas of Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 5: 2127-2132.
- Jingura, R. M.; Matengaifa, R.; Musadamba, D.; Musiyiwa, K. 2011. Characterisation of land types and agro-ecological conditions for production of *Jatropha* as a feedstock for biofuels in Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 5: 2080-2086.
- Kallivroussis, L.; Natsis, A.; Papadakis, G. 2002. RD—Rural Development: The Energy Balance of Sunflower Production for Biodiesel in Greece. *Biosystems Engineering*, Volume 81, 3: 347-354.
- Kamahara, H.; Hasanudin, U.; Widiyanto, A.; Tachibana, R.; Atsuta, Y.; Goto, N.; Daimon, H.; Fujie, K. 2010. Improvement potential for net energy balance of biodiesel derived from palm oil: A case study from Indonesian practice. *Biomass and Bioenergy*, Volume 34, 12: 1818-1824.
- Kantolic, A. G.; de la Fuente, E. B.; Giménez P. I. 2006. Soja. En Cultivos industriales, Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires p: 95-141.
- Karmakar, A.; Karmakar, S.; Mukherjee, S. 2010. Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. *Bioresource Technology*, Volume 101, 19: 7201-7210.
- Kays, S. J.; Nottingham, S. F. 2008. Biology and chemistry of Jerusalem artichoke *Helianthus tuberosus* L. Libro, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Kenter, C.; Hoffmann, C. M.; Märlander, B. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, Volume 24, 1: 62-69.
- Kumar, A.; Sharma, S. 2008. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products*, Volume 28, 1: 1-10.
- Kumar, N.; Vijay Anand, K. G.; Reddy, M. P. 2011. In vitro regeneration from petiole explants of non-toxic *Jatropha curcas*. *Industrial Crops and Products*, Volume 33, 1: 146-151.
- Lavanya, C.; Murthy, I. Y. L. N.; Nagaraj, G.; Mukta, N. 2012. Prospects of castor (*Ricinus communis* L.) genotypes for biodiesel production in India. *Biomass and Bioenergy*, Volume 39: 204-209.

- Lechón, Y.; Cabal, H.; de la Rúa, C.; Caldés, N.; Santamaría, M.; Sáez, R. 2009. Energy and greenhouse gas emission savings of biofuels in Spain's transport fuel. The adoption of the EU policy on biofuels. *Biomass and Bioenergy*, Volume 33, 6-7: 920-932.
- Lelio, H; Rebora, C; Gómez, L. 2009. Potencial de obtención de bioetanol a partir de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) regado con aguas residuales urbanas. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XLI. N° 1. 123-133.
- López Pereira, M.; Kantolic, A. G.; Giménez, P. I.; Sorlino D. M. 2006. Posibles vías para incrementar la producción en cultivos oleaginosos tradicionales. . En *Bioenergía 2006 avances y perspectivas*, Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires p: 25-38.
- López Pereira, M.; Rondanini, D.; Trápani, N. 2006. Girasol. En *Cultivos industriales*, Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires p 143-180.
- Maddonni, G. A. 2010. Caracterización de los escenarios hídricos y térmicos en las regiones maiceras argentinas. En: *IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo*, Rosario, 2010: 25-27.
- Mayer, L. I.; Maddonni G. A. 2010. Efecto del estrés térmico sobre el peso y la calidad de los granos de maíz (*Zea mays* L.) Flint, semi-flint y pisingallo. En: *IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo*, Rosario, 2010: 98-99.
- Miguez, F. E.; Miguez, F. H. 2008. Biocombustibles. En *Agrosistemas: Impacto ambiental y sustentabilidad*. Editorial facultad de agronomía, Universidad de Buenos Aires p: 37-56.
- Monti, A; Zegada-Lizarazu, W. 2012. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. *Biomass and Bioenergy*, Volume 40: 1-12.
- Moser, B. R.; Vaughn, S. F. 2010. Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel. *Bioresource Technology*, Volume 101, 2: 646-653.
- Mroginski, E.; Eyherabide, G.; Toledo, M. 2010. Germinación de diferentes genotipos de maíz a bajas temperaturas. En: *IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo*, Rosario, 2010: 347-349.
- Nogueira, L. A. H. 2011. Does biodiesel make sense?. *Energy*, Volume 36, 6: 3659-3666.
- Panoutsou, C.; Namatov, I.; Lychnaras, V.; Nikolaou, A. 2008. Biodiesel options in Greece. *Biomass and Bioenergy*, Volume 32, 6: 473-481.
- Paramio Nieto, J. A. 2007. Siembre de la remolacha azucarera. *AIMCRA* N° 97: 10-14.
- Pleanjai, S.; Gheewala, S. H. 2009. Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. *Applied Energy*, Volume 86, 1: S209-S214.
- Raccuia, S. A.; Melilli, M. G. 2007. Biomass and grain oil yields in *Cynara cardunculus* L. genotypes grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Research*, Volume 101, 2: 187-197.
- Raccuia, S. A.; Piscioneri, I.; Sharma, N.; Melilli, M. G. 2011. Genetic variability in *Cynara cardunculus* L. domestic and wild types for grain oil production and fatty acids composition. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 7: 3167-3173.
- Rebora C. 2010. Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.): materia prima para obtener etanol en Mendoza. Reunión regional de expertos Tecnología y biocombustibles de segunda generación: Una herramienta para la toma de decisiones. Reporte mayo, Pág. 85-94.
- Rebora, C. 2008. Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.): usos, cultivo y potencialidad en la región de Cuyo. *Horticultura Argentina* 27(63): 30-37.

- Rebora, C; Lelio, H; Ibarguren, L; Gómez, L. 2011. Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) regado con aguas residuales urbanas. Rev. FCA UNCUYO. 43(2): 83-90.
- Romero, E. R. 2010, Aprovechamiento bioenergético del sorgo azucarado, integrado a la agroindustria de la caña de azúcar. Conferencia. En: IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo, Rosario, 2010: 392-394.
- Sáenz Mejía, L. E. 2006 Cultivo de la palma africana: Guía técnica. IICA, Consultado en: <http://www.galeon.com/subproductospalma/guiapalma.pdf>
- Sánchez, O. J.; Cardona, C. A. 2008. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, Volume 99, 13: 5270-5295.
- Singh, S.; Kumar, A. 2011. Development of water requirement factors for biomass conversion pathway. *Bioresource Technology*, Volume 102, 2: 1316-1328.
- Srivastava, P.; Behera, S. K.; Gupta, J.; Jamil, S.; Singh, N.; Sharma, Y. K. 2011. Growth performance, variability in yield traits and oil content of selected accessions of *Jatropha curcas* L. growing in a large scale plantation site. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 9: 3936-3942.
- Thuesombat, P.; Thanonkeo, P.; Laopaiboon, L.; Laopaiboon, P.; Yunchalard, S.; Kaewkannetra, P.; Thanonkeo, S. 2007. The batch ethanol fermentation of Jerusalem artichoke using *Saccharomyces cerevisiae*. *KMITL Sci. Tech. J.* Vol. 7 No. S2 Nov. Pág. 93-96.
- Valetti, O. 2006. Apartado 2. Siembra directa. En *Cultivos industriales*, Editorial Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires p: 203.
- Visser, E. M.; Filho, D. O.; Martins, M. A.; Steward, B. L. 2011. Bioethanol production potential from Brazilian biodiesel co-products. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 1: 489-494.
- Vollmann, J.; Moritz, T.; Kargl, C.; Baumgartner, S.; Wagentristl, H. 2007. Agronomic evaluation of camelina genotypes selected for seed quality characteristics. *Industrial Crops and Products*, Volume 26, 3: 270-277.
- Wang, Z.; Calderon, M. M.; Lu, Y. 2011. Lifecycle assessment of the economic, environmental and energy performance of *Jatropha curcas* L. biodiesel in China. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, 7: 2893-2902.
- Wassner, D. F. 2006. El ricino (*Ricinus communis*) como alternativa para diversificar la producción en áreas marginales. En *Bioenergía 2006 avances y perspectivas*. Editorial facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires p: 57-68.
- Wassner, D.; Larran, A.; Rondanini, D. 2012. Evaluation of *Jatropha macrocarpa* as an oil crop for biodiesel production in arid lands of the Dry Chaco, Argentina. *Journal of Arid Environments*, Volume 77: 153-156.
- Windauer L. B.; Ploschuk E. L. 2006. Cultivos productores de aceites. En *Cultivos industriales*, Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires p: 63-94.
- Wu, X.; Leung, D. Y. C. 2011. Optimization of biodiesel production from camelina oil using orthogonal experiment. *Applied Energy*, Volume 88, 11: 3615-3624.
- Zheljazkov, V. D.; Vick, B. A.; Baldwin, B. S.; Buehring, N.; Coker, C.; Astatkie, T.; Johnson, B. 2011. Oil productivity and composition of sunflower as a function of hybrid and planting date. *Industrial Crops and Products*, Volume 33, 2: 537-543.
- Ziska, L. H.; Runion, B. G.; Tomecek, M.; Prior, S. A.; Torbet, H. A.; Sicher, R. 2009. An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. *Biomass and Bioenergy*, Volume 33, 11: 1503-1508.

Fotos

Fig. 1: http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2007/12/Indonesia_palmoil/images/clip_image002.jpg

Fig. 2: <http://www.palimplantations.com.au/oilpalmseeds/535kgoilpalm.jpg>

Fig. 3: <http://www.etawau.com/OilPalm/OilPalmFruit/OilPalmFruit02.jpg>

Fig. 4: http://4.bp.blogspot.com/NjPoa7xelc/T_onpeOLi4I/AAAAAAAAAAM/NCFEWfxbjms/s1600/miller+jorge+in+07+10+17+pi%C3%B1on+DSC00026+PANORAMICA.JPG

Fig. 5: Falasca y Ulberich, 2010.

Fig. 6: http://1.bp.blogspot.com/-W6lMeFo7Hgs/TIBNv_ebq6I/AAAAAAD24/ShjBA5O_yug/s1600/jatropha2.jpg

Fig. 7: Falasca y Ulberich, 2010.

Fig. 8: http://www.abiomas.org/img/portfolio/cultivos_1.jpg

Fig. 9: Falasca y Ulberich, 2007.

Fig. 10: Falasca y Ulberich, 2007.

Fig. 11: <http://www.globalfueltrading.com/images/castor%20plantation%20indonesia.jpg>

Fig. 12: Falasca y Ulberich, 2006.

Fig. 13: Dr. James R. Manhart, <http://botany.csd.tamu.edu/FLORA/mi02/mi02055.jpg>

Fig. 14: Dr. James R. Manhart, <http://botany.csd.tamu.edu/FLORA/fa04/fa04044.jpg>

Fig. 15: <http://www.agromeat.com/wp-content/uploads/2012/03/Colza1.jpg>

Fig. 16: <http://www.distribuidorabiar.com.ar/colza.jpe>

Fig. 17: Ing. Agr. Leandra Iburguren.

Fig. 18: Ing. Agr. Leandra Iburguren.

Fig. 19: <http://190.2.21.173/wordpress/wp-content/uploads/2012/07/Soja-1.jpg>

Fig. 20: <http://plantamedicinales.net/wp-content/467.jpg>

Fig. 21: <http://4.bp.blogspot.com/-8bfU7X1qlZM/T6wzytyXcnI/AAAAAAAAlg/GOMzebMv4I8/s1600/soja24.jpg>

Fig. 22: <http://www.opinioncalificada.com.ar/Imagenes/MostrarParaArticulo/10733>

Fig. 23: <http://saludable.infobae.com/files/2011/10/semillas-de-girasol.jpg>

Fig. 24: <http://www.traxco.es/media/Noticias/Girasol%20bajo%20Pivot.JPG>

Fig. 25: <http://luciasalazar.brinkster.net/imagenes/paisajes/ca%F1a%20de%20azucar.jpg>

Fig. 26: http://www.comex-online.com.ar/data/img_cont/img_imagenes/img_gr/1038.jpg

Fig. 27: <http://www.tucumanoticias.com.ar/noticias/up-load/upload/cana.jpg>

Fig. 28: http://www.agroinformacion.com/images/noticias/grandes/Agroinformacion.com21122011_124444.JPG

Fig. 29: Internet

Fig. 30: AIMCRA en: <http://www.aimcra.es/Publicaciones/Documentos/Otras/Beet%20Europe%202010.pdf>

Fig. 31: <http://ruraldeleones.org.ar/Imagenes/Noticias/1322573928.gif>

Fig. 32: http://www.agromeat.com/wp-content/uploads/2012/02/Maiz_Grano1.jpg

Fig. 33: <http://www.elperiodico.com.ar/wp-content/uploads/2012/04/cosecha-maiz.jpg>

Fig. 34: Su Yimin. <http://ecoport.org/ep?SearchType=pdb&PdbID=34020>

Fig. 35: http://www.new-ag.info/image/06/06/foc1071_1.jpg

Fig. 36: http://www.ellitoral.com/diarios/2009/05/23/laregion/REG-01-web-images/CAMPO89_fmt.jpeg

Fig. 37: Ing. Agr. M. Sc. Rebora, Cecilia.

Fig. 38: Ing. Agr. M. Sc. Rebora, Cecilia.

Fig. 39: Monti y Zegada-Lizarazu, 2012

Instituto de Energía - Universidad Nacional de Cuyo

Espacio de la Ciencia y la Tecnología - Padre J. Contreras 1300, Parque General San Martín

Ciudad de Mendoza, República Argentina, CP 5500. - +54 261 4299986

www.imd.uncu.edu.ar - ide@uncu.edu.ar



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

SDI
SECRETARÍA DE
DESARROLLO INSTITUCIONAL



IDE
Instituto de
Energía