	<p><i>Balance Energético de la producción de biodiesel a partir de soja en la república argentina</i></p> <p><i>Ing. Agr. M. Sc. Lidia B. Donato Ing. Ambiental Ignacio Roberto Huerga Ing. Agr. Jorge A. Hilbert</i></p>	Fecha: 06/11/2008
		N° Doc IIR-BC-INF-08-08

Introducción

El presente estudio tiene como objetivo general establecer el balance energético de la producción de biodiesel a partir de soja en Argentina. En cuanto concierne a combustibles, el balance energético básicamente es la diferencia entre la energía disponible por unidad de combustible producido y la energía necesaria para su producción (extracción o cultivo de la materia prima), el transporte de ésta a la industria, la industrialización (transformación y destilado) y transporte hasta el uso final.

El balance energético deseado apunta a que el impacto ambiental de la producción del biodiesel disminuya o sea nulo y que además, al reemplazar combustibles de origen fósil, el impacto ambiental de la producción del sustituto sea inferior al que producía el combustible no renovable que se sustituye.

A efectos de definir lo que se considera **impacto ambiental**, diremos que es un proceso de análisis, más o menos largo y complejo, lo mas objetivo posible, sobre los efectos que tendrá sobre el medio ambiente una acción humana prevista (a la que se denomina proyecto) y sobre la posibilidad de evitarlos o reducirlos a niveles aceptables o bien compensarlos.

En general la obtención de combustibles fósiles tiene un importante y complejo impacto sobre el medio ambiente. Es por todos conocido que la combustión de estos compuestos genera gases como el CO₂ e hidrocarburos residuales, que pueden ir a la atmósfera en estado gaseoso, a veces sin quemar, impactando muy negativamente al medio ambiente generando una especie de bóveda opaca sobre la superficie terrestre, que opera produciendo lo que se conoce como "efecto invernadero". Esta bóveda absorbe el calor infrarrojo reflejado en la superficie terrestre, aumentando la temperatura del aire en las proximidades de la misma. El CO₂ en concentraciones crecientes eleva el coeficiente de captación de la atmósfera, y las radiaciones solares, reflejadas en el suelo o el mar al disminuir la longitud de onda, se estrellan contra la bóveda opaca de CO₂.

Si continúa el incremento de este gas o de otros que también contribuyen al efecto invernadero -caso de hidrocarburos como el metano- en la atmósfera, se estima que la temperatura del planeta continuará aumentando con consecuencias climáticas muy negativas.

Lo que corresponde evaluar, entonces, es si la generación de gases que ocasionará el proyecto de producción de biodiesel a partir de soja será inferior a la generada por el combustible fósil que reemplazará, teniendo presente además contabilizar el producido por todas las actividades necesarias para su adecuación y/o transformación, desde su extracción, refinado y transporte hasta la llegada a las bocas de expendio.

Resulta necesario considerar también, los efluentes de todo tipo que puede ocasionar la producción de biocombustibles, desde la etapa agrícola hasta su arribo a los centros de distribución. Debe tenerse en cuenta además la contaminación que puede ocasionar la fabricación de los insumos que su producción demanda. En ocasiones dicha producción puede comprender derivados de origen no renovable como es el caso de los fertilizantes elaborados a partir de petróleo o gas natural, los que se deberán procurar reemplazar por algunos de origen renovable o por otros que no ocasionen impactos ambientales negativos apreciables, lo que ya se está haciendo en el caso del cultivo de caña con Biofertilizantes, observándose a la fecha resultados muy alentadores.

Todo estos factores deben tenerse presentes para definir si un proyecto de biocombustibles generará menos impacto ambiental que el producido al elaborarse los combustibles que pueden reemplazarlos o para considerar si resulta necesario estudiar y definir operaciones y/o procedimientos que hagan disminuir ese impacto en el tiempo de vida del proyecto.

Resulta importante analizar lo que se conoce como Ciclo de Vida (ACV) del Proyecto, método de soporte para la toma de decisiones que permite identificar los impactos ambientales vinculados al producto, sus procesos y las actividades asociadas en todas y cada una de sus etapas como sería el cultivo, su cosecha y transporte y todo lo vinculado a las etapas de industrialización y transporte de los combustibles hasta sus lugares de expendio. Deben considerarse, además, los efluentes gaseosos que su uso pueda generar. En cada instancia debe identificarse e inventariar todas las entradas y salidas del sistema en estudio para evaluar el consumo de recursos y las emisiones al medio ambiente, determinándose posteriormente los diferentes impactos ambientales de cada etapa. Finalmente, deben definirse las acciones de minimización y de mejoras accesibles, de suerte de contar con herramientas que permitan que el Balance Ambiental sea lo mas positivo posible.

Materiales y métodos

Para calcular los requerimientos energéticos para la producción de biodiesel de soja, se separaron los ciclos de en dos etapas: la etapa agrícola, que abarca desde las labranzas previas a la siembra hasta el acopio del grano; y la etapa industrial, que contempla la transformación del grano a biocombustible y su posterior traslado a centro de expendio. De estos procesos surge el balance energético propiamente dicho, es decir el valor que resulta de restar la energía de entrada (energía directa más la indirecta) en ambas etapas, a la energía de salida contenida en los litros de biocombustibles producidos.

Se tuvieron en cuenta las distintas secuencias de labores e insumos utilizados en zonas características del cultivo.

En la etapa agrícola se trabajó con distintos sistemas productivos: labranza convencional, siembra directa y siembra directa con tecnología de punta que implica alta densidad de siembra con sembradoras que aseguran una adecuada distribución de la semilla y emergencia uniforme del cultivo. Con disminución de la distancia entre hileras para lograr una rápida cobertura de suelo. Semillas de alto poder germinativo, preinoculadas y/o curadas. Buen manejo del rastrojo, fertilización y tratamientos apropiados con herbicidas e insecticidas.

Se considera dentro de la etapa agrícola, dos tipos de energías: la directa y la indirecta. Cuando se habla de energía directa, se refiere a la contenida en el gasoil utilizado en las labranzas previas, implantación, defensa y cosecha de los cultivos; como así también el combustible utilizado en el transporte del grano cosechado, desde el establecimiento agropecuario a la planta de acopio y secado, comúnmente denominado flete corto (menos de 30 km). Por último se tiene en cuenta el gasoil utilizado en el proceso de secado que se lleva a cabo en la planta acopiadora, para una primera reducción del porcentaje de humedad del grano cosechado, antes de que entre a la planta industrial.

En cambio, cuando se trata de la energía indirecta insumida en la etapa agrícola, se hace referencia a la energía contenida en los insumos utilizados (semilla, fertilizantes y agroquímicos) para producir una determinada cantidad de granos por hectárea, que se tomará como materia prima para el proceso de transformación en biocombustibles.

Para determinar el consumo energético en la etapa industrial, se realizó en primera instancia una descripción integral del proceso, considerando las diferentes variables y parámetros que influyen en el mismo, dando origen a un balance de masa, donde se pueden observar los productos y subproductos en cada caso.

Posteriormente, se relevaron diferentes estudios realizados donde se muestran los requerimientos de energía, principalmente energía térmica y eléctrica. Si bien éstos son realizados por países que poseen tecnologías desarrolladas y experiencia en la producción industrial de biocombustibles (EEUU, Alemania, Brasil, Italia, entre otros) pueden ser considerados para tener una aproximación a los consumos requeridos dado que en la Argentina se emplean idénticas tecnologías con un uso mas intensivo de las instalaciones lo cual implicarían eficiencias equivalentes o mayores a las tomadas como referencia.

Con los valores energéticos obtenidos en la etapa agrícola e industrial, se desarrolla el balance energético propiamente dicho, en el cual se realiza la diferencia entre la energía resultante (productos y subproductos) y la suma de todas las energías ingresantes al sistema. Con estos valores se puede tener una aproximación sobre la eficiencia energética total.

Es importante destacar que en este estudio se utilizaron valores obtenidos en la Argentina para la etapa agrícola mientras que para la etapa industrial se utilizaron valores obtenidos en terceros países. En este segundo aspecto el estudio tiene carácter de "exploratorio". Las principales limitaciones del mismo se ven enfocadas en la etapa industrial de producción de biocombustibles (donde, para establecer el consumo energético, se tomaron datos de experiencias realizadas por otros países), la realización de supuestos dentro del mismo y la asignación de valores energéticos a los subproductos. Para puntualizar estos detalles, será necesario realizar estudios de plantas en funcionamiento dentro de la República Argentina.

Resultados

Estimación de los consumos energéticos en las labores de labranza, implantación, defensa y cosecha de cultivos

Para determinar el total de litros de gasoil por hectárea demandados por las labores de labranza, implantación y defensa, se tuvieron en cuenta las distintas secuencias de labores utilizadas en zonas características de cultivo, ya sea en forma convencional y con siembra directa. Ésta última sin y con tecnología de punta.

Las secuencias de las labores involucradas en cada cultivo, se detallan a continuación (Márgenes Agropecuarios, 2007):

Soja Primera:

Convencional

33.1 L/ha

1. Sudeste de Bs. As.:

2 Disco doble; 1 Vibrocultivador c/rastra de dientes; 1 Siembra; 1 Fertilización y 3 Pulverizaciones.

Siembra Directa

17.1 L/ha

Norte y Oeste de Bs. As., Santa Fe, Sur Entre Ríos, Sur Córdoba, Sur Sgo.del Estero, Salta y SO de Bs. As.:

1 Siembra directa; 1 Fertilización y 6 Pulverizaciones.

Siembra Directa con tecnología de punta

17.1 L/ha

Sur de Santa Fe:

1 Siembra directa; 1 Fertilización y 6 Pulverizaciones.

Soja Segunda:

Siembra Directa

13.5 L/ha

Sudeste de Córdoba, Norte de Bs. As., Sur de sta. Fé y O Bs. As.:

1 Siembra directa y 4 Pulverizaciones.

El consumo de combustible por labor, se calculó con el uso del software Costo Maq, el cual cuenta con una importante base de datos elaborada con información de más de 30 años de resultados de ensayos de máquinas agrícolas en banco estático y a campo, en condiciones operativas variadas, lo cual permite tener resultados más cercanos a la realidad (Donato et al., 2007; 2006, 2003).

Para el cálculo del consumo de gasoil en la cosecha de granos, se trabajó con las capacidades de trabajo promedio de los datos suministrados para dos categorías de cosechadoras, que representan un alto porcentaje de las máquinas utilizadas en nuestro país. (Márgenes Agropecuarios, 2007 y Bragachini et al., 2001).

Tabla 1 - Cosecha: capacidades de trabajo de los principales cultivos

CULTIVO	CAP, TRABAJO (ha/h)
Soja	4,30 - 7,00

Se tomó como consumo de gasoil promedio de una cosechadora 46 L/h y el del tractor utilizado en las tareas de acarreo se consideró de 14 L/h, lo que hace un total de 60 L/h como el consumo horario de la tarea de cosecha. Con los datos anteriores en la Tabla 2, se calculó el consumo de gasoil por hectárea en la cosecha

Tabla 2 – Cosecha: consumo de combustible por hectárea

CULTIVO	Cap, Trabajo promedio (ha/h)	Consumo horario (L/h)	Consumo por hectárea (L/ha)
Soja	5,65	60	10,62

Con los datos de las Tablas 1 y 2, se confeccionó la Tabla 3 donde se pueden observar los consumos de combustibles por hectárea de las tareas agrícolas involucradas.

Tabla 3 –Consumo de combustible por hectárea

CULTIVO	CONSUMO LABORES (L/ha)	CONSUMO COSECHA (L/ha)	TOTAL LABORES (L/ha)
Soja 1° Convencional	33,10	10,60	43,70
Soja 1° SD	17,10	10,60	27,70
Soja 1° SD con tecnología de punta	17,10	10,60	27,70
Soja 2° SD	13,50	10,60	24,10

Estimación del consumo de combustible para el transporte (flete corto)

Según fuentes confiables para la estimación de la cantidad demandada de combustible en el traslado de los granos desde el campo del productor hasta el acopiador, es decir, lo que comúnmente se denomina como flete corto, se tomó como base 2 litros de gasoil por cada tonelada de granos transportados (INTA Manfredi, comunicación personal)¹.

Teniendo en cuenta el supuesto citado anteriormente, así como también los rendimientos medios utilizados para la cosecha y la superficie cosechada total país, se calculó la cantidad de gasoil involucrada en esta instancia (Tabla 4),

¹ INTA Manfredi. Estación Experimental Agropecuaria de Manfredi. INTA. 2005.

Tabla 4 –Consumo de combustible por hectárea de los principales cultivos

CULTIVO	RENDIMIENTO (ton/ha)	CONSUMO FLETE CORTO (L/ton)	CONSUMO TOTAL TRANSPORTE (L/ha)
Soja 1°Convencional	2,80	2,00	5,60
Soja 1°SD	2,80	2,00	5,60
Soja 1°SD con tecnología de punta	4,50	2,00	9,00
Soja 2°SD	2,20	2,00	4,40

Secado de grano

En el secado de grano se consideraron dos tramos: 1° tramo del campo a la planta de acopio y 2° tramo de la planta de acopio a la aceitera. Con gasoil sólo se seca el 10% de la producción del 1° tramo, el resto se seca con gas licuado o gas natural. Todo lo que se seca para la industria de aceite (2° tramo) no se hace con gasoil, por un tema de costo y de seguridad. Según información suministrada por fuentes confiables (Mega S.A., comunicación personal)²

Con la diferencia de humedad entre el grano cosechado y la requerida en la planta de acopio y las kilocalorías necesarias por tonelada para reducir el porcentaje de humedad se estimaron las kilocalorías totales por tonelada de cultivo (Tabla 5). No se tienen datos de colza.

Tabla 5 –Consumo de combustible por tonelada de grano secado

CULTIVO	Humedad Inicial → Humedad final (%)	kcal/ton/punto	kCal total/ton	L/ton
Soja	16→13	10.000	30.000	3,75

Con las kilocalorías totales por tonelada de cultivo y sabiendo que un litro de gasoil equivale a 8.000 kCal, se calcularon los litros necesarios para reducir la humedad en el porcentaje requerido por tonelada de grano. Con los litros por tonelada y el rendimiento del cultivo (ton/ha), se estimó el consumo de gasoil que demanda la tarea de secado por cultivo y por hectárea (Tabla 6).

Tabla 6 –Consumo de combustible por hectárea en el secado de granos

CULTIVO	RENDIMIENTO (ton/ha)	CONSUMO SECADO (L/ton)	LITROS CONSUMIDOS (L/ha)
Soja 1°Convencional	2,80	3,75	10,50
Soja 1°SD	2,80	3,75	10,50
Soja 1°SD con tecnología de punta	4,50	3,75	16,88
Soja 2°SD	2,20	3,75	8,25

² Secadoras de granos MEGA S.A. Noviembre 2005.

Litros de gasoil por hectárea consumidos en la etapa agrícola .

En la Tabla 7 se puede apreciar el total de L/ha de gasoil consumidos durante la etapa agrícola de acuerdo al sistema productivo utilizado. Este resultado surge de sumar el los litros de gasoil insumidos por las labores agrícolas de labranza, implantación, defensa y cosecha de los cultivos (Tabla 3); más los litros gastados en el transporte (flete corto) de los granos desde el establecimiento agropecuario a la planta de acopio y por último, los litros consumidos en el primer secado de los granos.

Tabla 7 –Consumo de combustible por hectárea en la etapa agrícola del cultivo

CULTIVO	TOTAL LABORES (L/ha)	TOTAL TRANSPORTE (L/ha)	TOTAL SECADO (L/ha)	TOTAL ETAPA AGRÍCOLA (L/ha)
Soja 1° Convencional	43,70	5,60	10,50	59,80
Soja 1° SD	27,70	5,60	10,50	43,80
Soja 1° SD con tecnología de punta	27,70	9,00	16,88	53,58
Soja 2° SD	24,10	4,40	8,25	36,75

Transformación de los litros de gasoil por hectárea en energía directa (MJ/ha)

En la Tabla 8 se transformaron los litros por hectárea consumidos en la etapa agrícola de los cultivos en kCal/ha, teniendo en cuenta que litro de gasoil equivale a 8.000 kCal y que 1 caloría es igual a 4,18 joule.

Tabla 8 –Energía directa en MJ/ha insumida durante la etapa agrícola

CULTIVO	TOTAL ETAPA AGRÍCOLA (L/ha)	ENERGÍA (kCal/ha)	ENERGÍA (kJ/ha)	ENERGÍA (MJ/ha)
Soja 1° Convencional	59,80	478.400	1.999.712	2.000
Soja 1° SD	43,80	350.400	1.46.672	1.465
Soja 1° SD con tecnología de punta	53,58	428.600	1.791.548	1.792
Soja 2° SD	36,75	294.000	1.228.920	1.229

Estimación de la energía requerida por los insumos involucrados en la producción de los cultivos

Se estimó el consumo de energía indirecta involucrada en la producción (implantación y cuidado) del cultivo, entendiéndose como tal la requerida por la semilla, los fertilizantes y los agroquímicos. Se trabajó con las mismas zonas y sistemas de producción descritos en el capítulo anterior (Márgenes Agropecuarios, 2007).

De acuerdo a la búsqueda bibliográfica realizada y con los datos encontrados, se confeccionó la Tabla 9, con los equivalentes energéticos de los insumos utilizados en la producción de los cultivos bajo estudio.

Tabla 9 –Equivalentes energéticos de los insumos utilizados durante la etapa agrícola

INSUMO	UNIDAD	ENERGÍA (MJ/unidad)	REFERENCIA
Semilla de soja	kg	16,62	Denoia et al, 2006
Semilla de maíz	kg	32,99	Denoia et al, 2006
Semilla de girasol	kg	23,00	UTFSM – Chile, 2007
Semilla de sorgo	kg	32,99	Denoia et al, 2006
Semilla de colza	kg	27,00	UTFSM – Chile, 2007
Fertilizantes:			
N	kg	77,41	Dos Santos et al, 2000
P	kg	14,00	Dos Santos et al, 2000
K	kg	9,68	Dos Santos et al, 2000
S	kg	6,04	Dos Santos et al, 2000
Herbicidas	L	418,00	Dos Santos et al, 2000
Insecticidas	L	364,00	Dos Santos et al, 2000
Fungicidas	L	272,00	Dos Santos et al, 2000
Inoculante	L	11,30	Dos Santos et al, 2000

Con los cuadros del Anexo 1, se confeccionó la Tabla 10 donde se puede apreciar la energía indirecta insumida en la etapa agrícola del cultivo de soja, por sistema productivo y zona. Se consideró como energía total indirecta al promedio entre las distintas zonas con un mismo sistema de producción.

Tabla 10 –Energía indirecta en MJ/ha insumida durante la etapa agrícola en SOJA

CULTIVO	ENERGÍA INDIRECTA (MJ/ha)	ENERGÍA TOTAL INDIRECTA (MJ/ha)
Soja 1° Convencional		4.024
Soja 1° SD		5.531
N. Bs. As./S. Sta. Fe	5.259,17	
S. Entre Ríos	5.005,96	
S. Córdoba	6.318,66	
O. Bs. As.	5.324,57	
S. Sgo. del Estero	6.274,95	
Salta	5.655,48	
Sudoeste Bs. As.	4.876,78	
Soja 2° SD		
Sudeste Córdoba	3.605,68	3.548
N. Bs. As./S. Sta. Fe	3.354,88	
N. Bs. As./S. Sta. Fe	3.605,68	
Oeste Bs. As.	3.625,88	
Soja 1° SD Tecn. Punta		4.427

Estimación de los consumos energéticos en las etapas industriales

La etapa industrial del proceso de producción de biocombustibles comprende la obtención del aceite de la oleaginosa y la transformación de este a biodiesel. La variabilidad del proceso influirá en los consumos de materias primas y utilización de recursos.

Para la obtención del aceite a partir del grano existen distintos métodos, que se podrían clasificar en dos: mecánicos y químicos. Los primeros incluyen la extracción del aceite por prensado, mientras que los segundos por medio de solventes. Existe un tercer tipo de proceso que es la combinación de ambos. En la Argentina se ha relevado que existen 15 empresas que utilizan extracción por solvente; 7 empresas que combinan los procesos y 6 empresas que realizan la extracción a partir de prensas.

En todos los casos, primero debe acondicionarse el grano para iniciar el proceso. El acondicionamiento incluye muestreo, zarandeo y secado, según los requerimientos específicos de los procesos.

Para el caso particular de la soja, se obtiene un promedio del 17% de aceite en función del peso del grano, 80% de subproductos y 3% de desperdicios. El grano debe entrar al proceso con un 10% - 10.5% humedad. El primer paso es realizar la rotura del grano, donde el mismo debe quedar disminuido hasta un octavo de su estado original. Se produce posteriormente un laminado y agregado de vapor, para ingresar de esta forma al proceso de extracción. En esta etapa es donde se le agrega solvente (hexano) y se envía la mezcla a destilación. Luego de destilado, el solvente evaporado se condensa y almacena; mientras que el aceite crudo se envía a tanques de almacenamiento y el residuo sólido se compacta y seca.

El proceso de producción de biodiesel tiene distintas variables y configuraciones. La misma depende de la materia prima utilizada (tipo de aceite y su respectiva composición), la capacidad de producción de la planta y el modo de operación de la misma. Previo a la producción del biodiesel, el aceite a utilizar debe ser tratado. En caso de que se trate de un aceite sin uso (extraído de la semilla) debería ser desgomado. Si es un aceite usado, primero se lo filtra y posteriormente secado para reducir el contenido de agua.

La principal diferencia que poseen las materias primas son la cantidad de ácidos grasos libres que se encuentran asociados con los triglicéridos. De estos van a depender si en el proceso de producción de biodiesel se realiza una catálisis ácida o alcalina. La transesterificación de las grasas se realiza a partir de una catálisis ácida, mientras que en la mayoría de los aceites, la transesterificación es alcalina.

La metodología que podría ser de mayor difusión para el pequeño productor es el proceso Bach (donde se opera sobre una determinada cantidad de material) utilizando un catalizador alcalino, que en la mayoría de los casos es el hidróxido de sodio (Na(OH)).

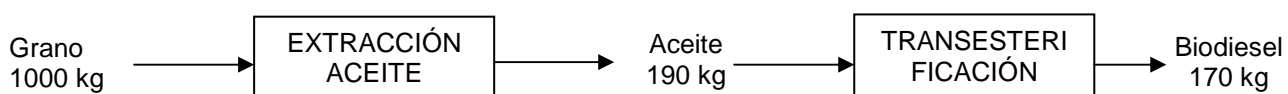
Las etapas del mismo son:

- Mezclado previo: En esta etapa se produce la mezcla del alcohol con el catalizador, obteniéndose el metóxido correspondiente. Dependiendo de la temperatura, la agitación y el tipo de alcohol, la reacción puede llevarse a cabo en un período de tiempo que se encuentra entre los 5 minutos y 1 hora.
- Transesterificación: Es la reacción principal del proceso. En la misma, reaccionan el aceite con el metóxido, a una temperatura de 65°C (se relevaron valores mínimos de 25°C y máximos de 85°C) durante un tiempo de 1 hora (mínimo 20 minutos y máximo 2 horas). La presión a la cual se realiza la reacción es la atmosférica, aunque se han relevado algunas experiencias donde los reactores trabajan a mayor presión. La relación entre alcohol y triglicérido es de 6:1 (se realiza con un 100% de exceso), mientras que el catalizador se agrega en un 1% en peso en la mezcla.

- Esta es la principal etapa debido a que se produce la transformación de los triglicéridos en metil ésteres. La eficiencia adoptada es de 93%, es decir, de 1000 kg de aceite se obtienen 930 kg de biodiesel³.
- Neutralización: Se produce el agregado de ácido (sulfúrico o clorhídrico) para neutralizar la alcalinidad obtenida por el producto con el agregado de soda cáustica. Este paso se realiza previo a la decantación.
- Separación: En los procesos Bach, la separación de la glicerina con el biodiesel se lleva a cabo decantadores. A partir de la diferencia de densidad, se obtiene una corriente “pesada” (glicerina con impurezas) y otra “liviana” (biodiesel con impurezas). La presencia de alcohol en ambas fases puede dificultar la separación. Si el proceso de decantación se produce a una mayor temperatura, la separación de fases puede ser optimizada debido a que un aumento de temperatura provoca la disminución de la viscosidad y aumento de velocidad de separación. Influyen también el tipo de separador (si es centrífugo o por gravedad) en el tiempo de decantación, que puede ir desde 1 hora hasta las 8 horas.
- Purificación del biodiesel: La purificación del biodiesel consiste en tres etapas:
 - ❖ Evaporación del alcohol: Se recupera el alcohol por evaporación. Se debe tener principal cuidado de que no existan restos de alcohol en los efluentes.
 - ❖ Lavado: Se produce el agregado de agua para eliminar las impurezas que pueden quedar en el biodiesel, como ser glicerina, alcohol y jabones. El agua generada como efluente puede reutilizarse en la purificación de la glicerina.
 - ❖ Secado: Consiste en eliminar los restos de agua que pueda tener el producto final
- Purificación de la glicerina: La purificación de la glicerina se produce en dos etapas.
 - ❖ Primera etapa – Refinamiento: El refinamiento puede ser físico o químico. Si es físico, se produce una destilación flash a una temperatura comprendida entre los 65°C y 93°C. En caso de que sea químico, se deben remover los jabones con sulfato de aluminio o cloruro férrico, y finalizar su purificación con carbón activado o arcilla.
 - ❖ Segunda etapa: Se realiza un lavado con inyección de vapor y posterior blanqueo con carbón activado.

Los siguientes diagramas de bloque muestran la producción de biodiesel a partir de los cultivos a estudiar, en función del contenido de aceite y la transformación del mismo a biodiesel

Soja



En la siguiente tabla se muestran, en grandes rasgos, los balances de masas del proceso de producción de biodiesel a partir del grano. Se colocaron los principales insumos y subproductos obtenidos. La base de cálculo es ajustar las variables del proceso para obtener 1000 kg de aceite. Se adjunta en ANEXO 2, el diagrama de flujo del proceso.

Tabla 17 – Balance de masas por cultivo, para la producción de biodiesel.

CULTIVO	SOJA ⁴
ÍTEM	

³ Se relevaron valores de eficiencia de transesterificación entre 85% y 94% por la NREL (National Renewable Energy Laboratory, EEUU). No obstante, en la mayoría de los estudios se adopta un 93% de transformación.

⁴ Fuentes varias

Materias primas	
Granos	5.880 kg
Insumos	
Hidróxido	6 kg Na(OH)
Alcohol (metanol)	355.5 kg
Ácido	6 kg (sulfúrico)
Agua	320 kg
Hexano	
Producto	
Aceite	1.000 kg (17%)
O	
Biodiesel	930 kg
Subproducto	
Harinas/pellets	4.700 kg
Glicerina	110 kg
Desechos	
Aguas residuales	63 kg

Se puede observar que la principal variable que influye en la cantidad de biodiesel generada es el contenido de aceite del grano. No se colocaron las cantidades de hexano que ingresan en el proceso de extracción de aceite debido a que este se recupera por enfriamiento y se reutiliza. Lo mismo sucede con el alcohol en el proceso de transesterificación. Este se utiliza en exceso y parte del mismo se recupera y reutiliza.

Análisis de consumos energéticos en proceso industrial.

Considerando que no existen experiencias desarrolladas en el país sobre consumos energéticos en la etapa industrial, se adoptaron estudios realizados anteriormente para obtener los parámetros del consumo energético del proceso de producción de biodiesel. Los resultados abarcan la extracción de aceite (mas comúnmente realizada por prensado y solvente) y la transformación del mismo a biocombustible.

El relevamiento se realizó en función de estudios desarrollados en documentos que hayan relevado los consumos energéticos en plantas de producción en pequeña y mediana escala. Se omitieron los estudios a escala laboratorio, debido a que la eficiencia de los mismos puede resultar superior.

Se muestran en la siguiente tabla los valores relevados de consumo energético por litro de biocombustible producido, en función de las distintas fuentes consultadas.

Tabla 18 – Estudios realizados sobre el consumo de energía en el proceso de biodiesel

Nombre documento	Dato	Comentarios																				
Lobato et. al 2007	8.1 MJ/l (SOJA) de energía consumida en el proceso industrial	El proceso industrial contempla la producción de aceite y biodiesel.																				
	15 MJ/l (SOJA) de energía consumida en el proceso industrial																					
	9.6 MJ/l (COLZA) de energía consumida en el proceso industrial																					
	17.8 (GIRASOL) MJ/l de energía consumida en el proceso industrial																					
	12.9 MJ/l (COLZA) de energía consumida en el proceso industrial																					
Universidad Técnica Federico Santa María 2006	Arroja valores de 17 a 15 MJ/L en el proceso industrial, para los cultivos de girasol y colza.																					
Vicente et al 2007.	5 MJ generados por cada MJ utilizado en la producción de biodiesel a partir de girasol																					
Talens et al 2006	1.47 MJ generados por MJ consumidos en el proceso de producción del girasol. TOTAL:	Tiene en cuenta la energía de los subproductos																				
Sheman, et al 2005.	<p style="text-align: center;">Usos energéticos</p> <p style="text-align: center;">Calor (kcal/ton biodiesel producido)</p> Mínimo: 95.022,7 Máximo valor: 617.922,2 Promedio: 329.793,5 <p style="text-align: center;">Electricidad (kWh/ton biodiesel producido)</p> Mínimo: 9,0 Máximo valor: 40,0 Línea base: 28,9 TOTAL APROX = 2 MJ/L	Para el proceso de producción de biodiesel a partir del aceite de soja																				
	Balances energéticos del biodiesel a partir de la SOJA. El balance final es 3:1. La energía requerida en cada etapa del proceso es la siguiente: (MJ cons/MJ ob) <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Agricultura:</td> <td style="width: 20%;">0.0656</td> <td style="width: 20%;">21.08%</td> </tr> <tr> <td>Transporte</td> <td>0.0034</td> <td>1.09%</td> </tr> <tr> <td>Obtención aceite</td> <td>0.0796</td> <td>25.61%</td> </tr> <tr> <td>Transporte</td> <td>0.0072</td> <td>2.31%</td> </tr> <tr> <td>Transesterificación</td> <td>0.1508</td> <td>48.49%</td> </tr> <tr> <td>Transporte</td> <td>0.0044</td> <td>1.41%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>0.3110</td> <td>100.00%</td> </tr> </table>	Agricultura:	0.0656	21.08%	Transporte	0.0034	1.09%	Obtención aceite	0.0796	25.61%	Transporte	0.0072	2.31%	Transesterificación	0.1508	48.49%	Transporte	0.0044	1.41%	Total	0.3110	100.00%
Agricultura:	0.0656	21.08%																				
Transporte	0.0034	1.09%																				
Obtención aceite	0.0796	25.61%																				
Transporte	0.0072	2.31%																				
Transesterificación	0.1508	48.49%																				
Transporte	0.0044	1.41%																				
Total	0.3110	100.00%																				
Pimentel D. et al 2005	Consumo de energía en proceso de obtención de biodiesel a partir de la soja : <ul style="list-style-type: none"> • Electricidad: 2.562 MJ/L • Vapor: 4.96 MJ/L • Total proceso sin considerar la energía contenida en la semilla: 15 MJ/L • Total del proceso (con la energía contenida en la semilla): 43.66 MJ/Lt Consumo de energía en proceso de obtención de biodiesel a partir del girasol : <ul style="list-style-type: none"> • Electricidad: 2.562 MJ/L • Vapor: 4.96 MJ/L • Total proceso sin considerar la energía 	El autor considera, en los consumos energéticos del proceso, la energía que contiene la semilla o el aceite. Se tendrán en cuenta en el análisis del consumo energético la energía de fuente fósil para producir el biocombustible (15 MJ/L para la soja y 13.23 MJ/L para el girasol)																				

	contenida en la semilla: 13.23 MJ/L • Total del proceso (con la energía contenida en la semilla): 72.05 MJ/L	
Elsayed M. A. et al 2003	Proceso de extracción de aceite: 2.47 MJ/L Proceso de producción de biodiesel: 5.02 MJ/L.	Producción de biodiesel a partir de la colza.

Visto la variabilidad en los datos obtenidos, para un mejor análisis se recomienda tener datos precisos de plantas en funcionamiento. También el balance energético del proceso de producción podrá variar en función del tipo de proceso y de la eficiencia de los equipos que se utilicen.

Energía contenida en Productos y subproductos

La generación de energía en el proceso de producción de biodiesel es variada, y su análisis se realiza en función de los usos a los cuales se los destina a los subproductos. Al igual que en el punto donde se discutió la energía obtenida de los productos del bioetanol, es importante considerar las definiciones desarrolladas en aquel apartado.

El producto obtenido del proceso, el biodiesel, es utilizado como combustible alternativo. Para realizar el balance energético se toma el poder calorífico inferior del mismo, que se encuentra entre los **35 MJ/L a 33 MJ/L**. El trabajo realizado por Talents et al obtiene un valor energético de **31,35 MJ/kg**, inferior a otros estudios. Estos valores se encuentran referenciados en distintas normas internacionales, en donde el poder calorífico es un parámetro importante a considerar, ya que en cierta forma caracteriza la energía entregada por el combustible. Se toma como valor de referencia **35 MJ/L**

Respecto a los subproductos, la discusión es similar a la realizada en el proceso de bioetanol. Para este caso, se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para la glicerina, se considerará el poder calorífico inferior. En algunos casos, la misma puede utilizarse como combustible en el mismo proceso de producción, aunque por sus contenidos de agua el valor energético es bajo. En otros casos, la purificación de la glicerina permite que tenga otro destino (en el campo químico, farmacéutico y cosmético, según Larrosa).

Para el balance energético realizado posteriormente, se tomará el poder calorífico inferior de la glicerina, estimado en **16,5 MJ/kg** de glicerina.

- Respecto a la energía de las harinas obtenidas, existe información relevada sobre el poder proteico de las mismas, debido a que estas son utilizadas como alimento de animales. Sería poco coherente realizar la hipótesis de que la harina tendrá como destino la generación de energía térmica o eléctrica, ya que su principal destino es el de alimentación. Lo correcto para este caso puntual sería conocer *cuanta energía se consume para producir un alimento con las mismas características proteicas que las harinas obtenidas en el proceso industrial*. Al no contar con esta información, y con el objetivo de tener un valor de referencia para realizar el balance energético, se utilizará el dato de la energía bruta de la harina (para los tres casos en general) estimado en **18 MJ/kg**.

Se resume en la siguiente tabla algunos valores citados por distintos autores, de los poderes caloríficos del biodiesel y sus subproductos.

Tabla 19 – Poderes caloríficos del biodiesel y subproductos derivados

FUENTE	CULTIVO	PCN BIODIESEL (MJ/L)	PCN GLICERINA (MJ/kg)	Energía Bruta Harina (MJ/Kg)
--------	---------	----------------------	-----------------------	------------------------------

Lobato et al 2005	Soja	33,3	16,55	16,84
Larrosa et al	General	35		
Stout et al 2000	Soja	35,24		
Fukuda et al	Soja	33,5		

Balance energético propiamente dicho

A partir de los datos obtenidos en la fase industrial y en la agrícola, se realizó el balance energético. Se debe considerar que los datos con los que se cuenta en la etapa agrícola son propios de la República Argentina. En lo que respecta a la etapa industrial, los datos obtenidos fueron recolectados de experiencias realizadas en otros países.

Como en la mayoría de los estudios realizados, para obtener el balance energético se buscarán los valores de energía neta (VEN) y la relación existente entre los ingresos energéticos y las salidas. El valor de energía neta expresa la cantidad de energía que se estaría generando, contabilizando o no los subproductos. La relación energética estaría dando una idea de cuanta energía se genera en función de la que se consume.

Para este estudio en particular, ambos quedan definidos de la siguiente forma:

- Valor de energía neta = Energía generada – Energía consumida
- Relación energética = Energía generada/Energía consumida

Se buscarán las distintas relaciones existentes para comparar, posteriormente, los resultados con otros estudios realizados. La unidad utilizada será **MJ consumido o generado por litro de biocombustible generado**. Se calcularán en forma separada las energías consumidas y generadas, realizando las respectivas transformaciones de unidades.

Tabla 20 – Consumos energéticos en la producción de biocombustibles en la etapa agrícola

CULTIVOS	ENERGÍA		TOTAL	Rendimiento ton/ha	Consumo MJ/ton
	Directa MJ/ha	Indirecta MJ/ha			
Soja 1°Convenc.	2000	4024	6024	2.80	2151.4
Soja 1°SD	1465	5531	6995	2.80	2498.2
Soja 1°SD T.P.	1792	4427	6219	4.50	1382
Soja 2°SD	1229	3548	4777	2.2	2171.4

Se considera a la energía directa al combustible utilizado para realizar las distintas labores, y a la energía indirecta como la energía bruta de las semillas, los fertilizantes, agroquímicos y otros agregados que se aplican en esta etapa. Realizando el producto entre el total de la energía consumida y el rendimiento, se obtiene el consumo energético por ton de grano producido.

Tabla 21 – Rendimiento energético en la producción de biocombustibles en la etapa agrícola

CULTIVOS	Rendimiento	Consumo	Producción	Energía
----------	-------------	---------	------------	---------

	ton/ha	MJ/ton	biocombustible (L/ton)	consumida/litro (MJ/L)
Soja 1° Convenc.	2.80	2151.4	180.0	12.0
Soja 1° SD	2.80	2498.2	180.0	13.9
Soja 1° SD T.P.	4.50	1382.0	180.0	7.7
Soja 2° SD	2.20	2171.4	180.0	12.1

El consumo de gasoil por flete largo es de 7.7 L/ton. Teniendo en cuenta el poder calorífico del gasoil (8.000 kcal/L), transformando el resultado a MJ y operando de forma de obtener el consumo de energía referido a la producción de biocombustible, se obtiene la siguiente tabla

Tabla 22 – Rendimiento energético en la producción de biodiesel en transporte a Planta Aceitera

CULTIVOS	Consumo energético por flete largo (MJ/ton)	Producción biocombustible (L/ton)	Consumo energético por transporte a planta aceitera (MJ/L)
Soja	257.9	180	1,43

En lo que respecta al proceso industrial, se toman los valores máximos y mínimos reportados en los estudios referenciados en la bibliografía, para los cultivos en cuestión. Para el caso del sorgo azucarero, se adoptan los valores del proceso de producción de bioetanol a partir del maíz en el proceso de molienda seca.

Tabla 23 – Rendimiento energético en la producción de biodiesel en la etapa industrial

CULTIVOS	Rendimiento energético del proceso MJ/L	
	Máximo	Mínimo
Soja	15,00	8,00

Los balances energéticos relevados tienen en cuenta la energía de los insumos (metanol, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, ácido sulfúrico, agua y enzimas). No se tuvieron en cuenta los valores que se encuentran por debajo de lo reportado en distintas publicaciones. Tanto para el proceso de biodiesel como para el de bioetanol, el consumo energético por litro de biocombustible se encuentra entre los 7 y 18 MJ/L, por lo tanto se especificaron los valores que se encuentran en este rango.

Es importante si contemplar el transporte desde la planta de biocombustible hacia el centro de expendio. Para estos valores se adopta un promedio entre el “flete corto” y “flete largo”, de **4.8 L de gasoil por ton transportada**.

Tabla 24 – Rendimiento energético en la producción de biocombustibles en transporte a Centro de Expendio

CULTIVO	Consumo energético por flete a centro de expendio (MJ/ton)	Producción biocombustible (L/ton)	TOTAL (MJ/L)
Soja	160.77	180	0,89

Sumando las etapas industrial y agrícola, más los distintos traslados de los productos intermedios, se obtuvo el total del consumo energético para la producción de biodiesel. Se tomarán los valores máximos y mínimos referidos a la etapa industrial, ya que como se discutió anteriormente, el valor obtenido en esta etapa es susceptible a las diferentes tecnologías utilizadas:

Tabla 25 – Consumo energético por litro de biocombustible generado

CULTIVOS	E. Agrícola (MJ/L)	Transp.. a Ind. Aceitera	Proceso Industrial		Transp.. a ctro exp.	TOTAL	
			Máximo	Mínimo		Máx.	Mín
Soja 1° Convenc.	12	1,43	15	8.00	0,89	29,32	22,32
Soja 1°SD	13,9	1,43	15	8.00	0,89	31,22	24,22
Soja 1°SD T.P.	7,7	1,43	15	8.00	0,89	25,02	18,02
Soja 2°SD	12,1	1,43	15	8.00	0,89	29,42	22,42

Energía generada.

La energía generada es el producto obtenido del proceso. Los resultados de la fabricación de biodiesel son productos utilizados como combustibles propiamente dichos (biodiesel; posiblemente también la glicerina) y alimentos.

El contenido energético del biodiesel se mide a partir de los poderes caloríficos inferior y superior, anteriormente definidos. Se tomarán los poderes caloríficos inferior, de forma de hacer un análisis conservativo. El valor asignados fué:

- Poder calorífico del biodiesel: 35 MJ/L

Es en este punto, es donde se centran la mayoría de los estudios analizados sobre “Análisis de Ciclo de Vida”: *como asignar valores energéticos a los subproductos*. Se mostraron los cuatro métodos desarrollados, seleccionando en cada caso el que mejor se aplique, y para el cual se encuentren valores de referencia.

Con el objetivo de transformar los valores energéticos de los subproductos a la unidad de referencia (MJ/L de biocombustible), se tomaran las cantidades generadas (en unidades de masa) y se lo dividirá por los litros de biodiesel que genere esta materia prima.:

Cantidad de glicerina generada: 110 kg

Cantidad de biodiesel generado: 1057 L

Kg de glicerina por L de biodiesel = $110 \text{ kg de glicerina} / 1057 \text{ L de biodiesel} = 0.104 \text{ kg/L}$.

Valor energético asignado a la glicerina: 16.5 MJ/kg

Energía obtenida a partir de la glicerina por litro de biocombustible:

$16.5 \text{ MJ/kg} \times 0.104 \text{ kg/L} = 1.72 \text{ MJ/L}$

Tabla 26 – Energía generada por subproductos

SUBPRODUCTO	Valor Energ. (MJ/kg)	CULTIVO	Cant. Generada (kg)	LTS DE BIOCOM	CANT KG/LTS BIOCOMB.	TOTAL ENERGÍA SUBP. (MJ/L BIO)
Harina	18	Soja	4.700	1.057	4,45	80,04
Glicerina	16,5	Soja	110	1.057	0,10	1,72

Se puede observar que la energía generada a partir de las harinas es la que se produce en mayor cantidad, debido a la gran masa de material generada. La glicerina, por su escasa generación y su bajo poder calorífico es la que menor incidencia tiene, mientras que los subproductos de las molindas de maíz y sorgo tienen contenidos energéticos similares.

Se detalla a continuación el porcentaje de energía que generan los productos y subproductos, en función del total de la energía generada:

Tabla 27 – Porcentaje de energía entregada por productos y subproductos

CULTIVO	E PROD		E SUBP	
	TOTAL (MJ/L)	%	TOTAL	%
Soja	35	30	81.75	70

Balance energético

Con los valores mostrados anteriormente, se muestran tablas con los balances energéticos correspondientes. Se realizaron dos tablas, de forma de obtener los resultados para el máximo y mínimo consumo de energía fósil. A su vez, en cada una de las tablas se calculan los valores de energía neta (VEN) y relación energética (Energía generada/Energía consumida) sin considerar los subproductos y teniendo en cuenta los mismos.

Tabla 28 - Balance energético de los biocombustibles con los consumos máximos de energía fósil

CULTIVOS	CONSUMOS MÁXIMOS	INGRESOS		BALANCE			
		E Prod.	E Subpr.	VEN 1	VEN 2	RE 1	RE 2
Soja 1° Convenc.	29,32	35,00	81,75	5,68	87,43	1,19	3,98
Soja 1°SD	31,22	35,00	81,75	3,78	85,53	1,12	3,74
Soja 1°SD T.P.	25,02	35,00	81,75	9,98	91,73	1,40	4,67
Soja 2°SD	29,42	35,00	81,75	5,58	87,33	1,19	3,97

Tabla 29 – Balance energético con los consumos mínimos de energía fósil

CULTIVOS	CONSUMOS MÍNIMOS	INGRESOS		BALANCE			
		E Prod.	E Subpr.	VEN 1	VEN 2	RE 1	RE 2
Soja 1° Convenc.	22,32	35,00	81,75	12,68	94,43	1,57	5,23
Soja 1° SD	24,22	35,00	81,75	10,78	92,53	1,45	4,82
Soja 1° SD T.P.	18,02	35,00	81,75	16,98	98,73	1,94	6,48
Soja 2° SD	22,42	35,00	81,75	12,58	94,33	1,56	5,21

Notas:

Todos los valores de las tablas se encuentran en MJ/L.

Referencias

VEN 1 = E Prod – Consumos

VEN 2 = E Prod + E Subpr – Consumos

RE 1 = E Prod/Consumos

RE 2 = (E Prod + E Subpr)/Consumos

Discusión de los resultados.

➤ Biodiesel:

En el caso de la soja, sucede algo muy particular con respecto a los subproductos. Los valores de relación energética varían entre 1.12 (soja de primera siembra directa, con consumos máximos de energía) y 1.94 (soja de primera con siembra directa y tecnología de punta, con consumos mínimos de energía) cuando no se tienen en cuenta los subproductos generados. Si consideramos los mismos, los valores de relación energética varían entre 3.74 y 6.48, para los mismos sistemas mencionados anteriormente. Para este último caso, es importante considerar que en el cultivo de la soja, el 70% de la energía generada pertenece a los subproductos.

Es importante destacar que no se han encontrado estudios en los cuales la relación energética sea tan alta como el máximo valor encontrado para la soja (6.48). Shehan y otros (1998) consideran una relación de 3 unidades energéticas generadas por cada unidad de energía fósil consumida. También Lobato (2007) encuentra que el balance neto de energía, en función de los valores asignados a los subproductos, varía entre 1.16 y 3.38.

Considerando los subproductos, y tomando el total de la energía generada (ya sea como sustituto de los combustibles fósiles, alimentación u otro uso) la soja de primera en siembra directa con tecnología de punta es la que mayor relación presenta. Es importante destacar que en cualquiera de los casos, la relación entre las energías generadas y consumidas dio un resultado mayor a uno, lo que implica que existe generación energética.

Conclusiones

➤ Se puede observar, en términos generales, que los balances energéticos anteriormente mostrados dan, en su mayor medida, positivos, aún teniendo en cuenta las peores condiciones (máximos valores de consumo energético del proceso; no considerar el valor de los subproductos como ser las harinas proteicas que representan el 80% de la extracción de soja, poder calorífico inferior)

- La bibliografía consultada posee cierta homogeneidad en cuanto a los resultados obtenidos en la relación energética. No obstante, se aplican diversos métodos para cuantificar en términos de energía a los subproductos.
- Se produce un mayor consumo energético en la *fase industrial*. No obstante, este es el principal punto a estudiar en casos reales dentro de la República Argentina, debido a que la variable energética estará ligada a la tecnología utilizada. Las plantas argentinas son nuevas y con una escala mayor que las europeas por ejemplo.
- Los valores energéticos asignados a los subproductos influyen en el resultado final dado que hasta el momento se han considerado de manera muy conservadora (sólo el valor calórico).
- De la soja se derivan principalmente subproductos proteicos para el consumo animal (harina y pellets de soja) por lo que el cálculo del balance energético para la producción de biodiesel en base a soja debe tener en cuenta la participación de este subproducto procediéndose a descontar un 80% de la energía requerida para la producción de las habas de soja en la etapa agrícola así como en la etapa industrial (crushing). El biodiesel obtenido representa menos del 20% de las habas de soja mientras que el 80% restante se producen harinas proteicas para piensos. No se ha descontando la participación de las harinas proteicas en el valor de ahorro energético de la producción de biodiesel en base a soja.
- Los consumos energéticos obtenidos en la fase agrícola son fiables a la hora de realizar un nuevo balance energético.

Limitaciones y oportunidades resultantes del estudio

- Es de suma necesidad realizar estudios reales en la Argentina de consumos energéticos en plantas de producción de biodiesel y bioetanol, en pequeña, mediana y gran escala. Los datos utilizados en este informe fueron relevados de bibliografía y trabajos realizados en Europa y Estados Unidos. Las variables del proceso industrial influyen en los resultados finales
- Es importante asignar un valor energético adecuado a los subproductos. Se propone que el mismo sea conociendo los consumos de energía en las plantas de producción de sustitutos o productos (alimentos balanceados, dietas alimentarias para animales, etc) que puedan ser reemplazados por los subproductos obtenidos con el biodiesel. De esta forma se tendría una certeza sobre el ahorro de energía
- Los resultados mostrados anteriormente son obtenidos luego de realizar supuestos. Es difícil dar certeza cuando se realiza un estudio a escala global. Se intenta, a través de este trabajo, dar un panorama general sobre los consumos energéticos en la producción de biocombustibles
- Es necesario realizar un estudio de sensibilidad de las variables, siempre y cuando se cuenten con datos verídicos en todas las fases de producción.

Bibliografía

- “Evaluación del Potencial Productivo de biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales”. Santiago de Chile: Universidad Técnica Santa María, Centro Avanzado de Gestión, Innovación y Tecnología para la Agricultura. 2007. 147
- Bouaid A., Diaz Y., Martinez M., Aracil J. “Pilot plant studies of biodiesel production using Brassica carinata as raw material” En Catalysis Today N° 106 (2005). 193–196. disponible en www.sciencedirect.com
- Bragachini, Mario; Andrés Méndez y Axel von Martín. 2001. Mercado de Cosechadoras VI - Cuadro Comparativo. Este artículo forma parte del trabajo "Eslabonamiento Productivo del Sector Maquinaria Agrícola Argentina", realizado para el Consejo Federal de Inversiones. Mayo.
- Centro Avanzado de Gestión, Innovación y Tecnología para la Agricultura. Universidad Técnica Federico Santa María. 2007. Evaluación del potencial productivo de biocombustibles en Chile con cultivos agrícolas tradicionales. Autores varios. Santiago, 20 de marzo. 148 páginas.
- Corradi P., Del Río J.A., Eleicegui G., Zorraquin T. “Agroalimentos Argentinos” Buenos Aires: AACREA, 2005. 55-68.
- Denoia, J.; M. S. Vilche; S. Montico; B. Tonel Y N. Di Leo. 2006. Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. Ciencia, Docencia y Tecnología. Universidad Nacional de Entre Ríos. ISSN (Versión impresa): 0327-5566. Vol. XVII, número 033. Noviembre. Pp. 209-226.
- Donato De Cobo, Lidia B.; Mario O. Tesouro; Agustín A. Onorato. “Software para la toma de decisiones en la gestión de la maquinaria”. Editorial Eumedia S. A. Madrid – ESPAÑA. Revista Vida Rural, N° 173, 15 de julio, pág. 42-44.
- Donato, L. B.; Moltoni, L. A. Y Onorato, A. A. “Estimación del consumo potencial de gasoil en el partido de Daireaux (Provincia de Buenos Aires). VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Editado en CD-Rom con registro 1Energ_Donato. Villa de Merlo, San Luis - Argentina: 9 al 12 de noviembre de 2005. 5 páginas.
- Donato, L. B.; Moltoni, L. A. Y Onorato, A. A. “Estimación del consumo potencial de gasoil para las labores agrícolas en la provincia de Buenos Aires. Publicación bimestral PROTECCIÓN PETROLERA: energía para la vida. Año 1, N°3. Julio /agosto 2005. Pág.: 8-12.
- Donato, Lidia B. 2007 “Estimación del consumo potencial de gasoil para las tareas agrícolas, transporte y secado de granos en el sector agropecuario”. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR - CADIR 2007. Editado en CD. 19 al 22 de setiembre.
- Donato, Lidia B. Mario O. Tesouro Y Agustín A. Onorato. 2006. Costo Maq-Nueva Versión 1.1: Software Para La Gestión Integral De La Maquinaria Agrícola. Buenos Aires: [S.N.], 2006. 10 Páginas. Trabajo Ganador Premio Gerdau Mejores De La Tierra, En La Categoría Investigación Y Desarrollo, Nivel Profesional. 24ª Edición. Año 2006.
- Elsayed M. A., Matthews R., Mortimer D., “Carbon and energy balances for a range of biofuels options” Resources Research Unit. School of environment and development sheffield hallam university. 2003. 320.
- Fangrui Ma., Milford A., Hanna “Biodiesel Production: A review” En Elsevier Bioreserch Technology. Vol.70 (1999). 1-15.

- Franco, D., "Productos de Maíz. Análisis de la cadena alimentaria" En "Alimentos Argentinos" N° 32 (2006).
- Fukuda H., Kondo A., Noda H. "Biodiesel fuel production by transesterificación of oils" En Journal of bioscience and bioengineering. Vol 92 N°5 (200 1). 405-416.
- INTA Manfredi. Estación Experimental Agropecuaria de Manfredi. INTA.
- King S., Dale B., "Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues" En "Biomass and Bioenergy" Vol 26 N°4 (2004). 361-375 .
- Larrosa, R. "El proceso de producción de biodiesel. Refinación de la glicerina". 8
- Lobato, V. et al "Metodología para optimizar el análisis de materias primas para biocombustibles en los países del cono sur". Montevideo: PROCISUR. 2007. 93
- Lynd L., Wang M. "A Product-Nonspecific Framework for Evaluating the Potential of Biomass-Based Products to Displace Fossil Fuels" En "Journal of Industry and Ecology" Volumen 7 números 3 y 4. Massachusetts Institute of Technology and Yale University. 2004. 17- 32.
- MÁRGENES AGROPECUARIOS. Año 23 N°267. Septiembre 2007.
- Ortiz Marco, Susana "Buscando Combustibles Alternativos: El Bioetanol" En "Anales de Mecánica y Electricidad" Edición Julio – Agosto 2003
- Panichelli, L. "Análisis de Ciclo de Vida para la producción de B100 en la Argentina": Trabajo Final de Especialización en Gestión Ambiental en Sistemas Agroalimentarios. Buenos Aires, 2006. 90
- Pereira Dos Santos, H.; R. N. Fontaneli; J. C. Ignackak E S. M. Zoldan. 2000. Conversão e balanço energético e sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto". Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35 (4): 743-752.
- Peterson C., Hustrulid T. "Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels" En Biomass and Bioenergy Vol. 14, No. 2 1998. 91-101.
- Pimentel D., Patzek T., "Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower" En "Natural Resources Research" Vol. 14, No. 1, (2005). 65-76
- Romano S., Gonzalez E., Laborde M. "Combustibles Alternativos" Buenos Aires: Ediciones Cooperativas. 2005. 187
- Schumacher J. "Small Scale Biodiesel Production: An Overview". En "Agricultural Marketing Policy Paper N°22 (2007). Montana. 6
- Secadoras de granos MEGA S.A. Noviembre 2005.
- Shapouri H., Duffield J., Wang M., "The Energy Balance of Corn Ethanol". En Agricultural Economic Report Number 813. United States Department of Agricultural. 2002.
- Sheehan J., Camobreco V., Duffield J. y otros "An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles" Colorado: US Department Energy and US Department Agricultural, 1998. 33
- Stout B.A., "Handbook of Energy for World Agricultural" Londres: ELSEIRVER APPLIARD SCIENCE. 2000. 504

- Talens L., Villalba G., Gabarrell X. "Exergy analysis applied to biodiesel production" En ScienceDirect N°51(2007).397-407
- US National Sorghum Producers "Sorghum for ethanol production" disponible en findarticles.com/p/articles/mi_m3284/is_n1_v13/ai_8897957
- Van Gerpen J., Shanks B., Pruszko R. y otros "Biodiesel Production Technology" Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2004. 105.
- Van Gerpen, J. "Biodiesel processing and production" En Elsevier Fuel Processing Technology. Vol. 86 (2005). 1097-1107.
- Vergagni G., "La Industria del Etanol a partir del maíz ¿Es factible su desarrollo en Argentina?" Estudio de Investigación realizado por Maizar y V&A Desarrollos Empresarios. Buenos Aires, Septiembre de 2004.
- Vicente G., Martínez M., Aracil J., "- Optimisation of integrated biodiesel production. Part I. A study of the biodiesel purity and yield" En Science Direct Vol 98 IS 9. (Jul. 2007). 1724-1733.
- Wang M., Saricks C., Santini D., "Effects of fuel ethanol use on fuel-cycle energy and greenhouse gas emissions". ANL/ESD-38. Publisher in 15th International Symposium on Alcohol Fuels 26-28. San Diego, CA, USA September 2005

ANEXO

(*)

Soja 1° Convencional

4024 Mj/ha

INSUMOS	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Semilla RR	kg/ha	70.00		16.62	1163.40
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.40		283.30	396.62
Superfosfato Triple	kg/ha	50.00	10	14.00	140.00
Sencorex	L/ha	1.10		418.00	459.80
Acetoclor	L/ha	2.50		418.00	1045.00
Lorsban Plus	L/ha	0.70		364.00	254.80
Lorsban 48 E	L/ha	1.40		364.00	509.60
Cipermetrina	L/ha	0.15		364.00	54.60
TOTAL					4023.82

Soja 1° SD

5531 Mj/ha

INSUMOS N. Bs. As./S. Sta. Fe	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	4.00		418.00	1672.00
Metsulfuron Metil	kg/ha	0.01		418.00	3.34
2,4 D 100%	L/ha	0.50		418.00	209.00
Semilla RR	kg/ha	70.00		16.62	1163.40
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.40		283.30	396.62
Fosfato Monoamónico 23% P	kg/ha	40.00	9.2	14.00	128.80
11% N			4.4	77.41	340.60
Roundup Max	kg/ha	1.50		418.00	627.00
Decis Forte	L/ha	0.05		364.00	18.20
Lorsban 48 E	L/ha	1.40		364.00	509.60
Cipermetrina	L/ha	0.15		364.00	54.60
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					5259.17

INSUMOS S. Entre Ríos	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	5.00		418.00	2090.00
Metsulfuron Metil	kg/ha	0.01		418.00	3.34
2,4 D 100%	L/ha	0.30		418.00	125.40
Semilla RR	kg/ha	70.00		16.62	1163.40
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.40		283.30	396.62
Superfosfato Triple	kg/ha	50.00	10	14.00	140.00
Roundup Max	kg/ha	1.10		418.00	459.80
Decis Forte	L/ha	0.05		364.00	18.20
Lorsban 48 E	L/ha	0.60		364.00	218.40
Cipermetrina	L/ha	0.10		364.00	36.40
Endosulfan	L/ha	0.60		364.00	218.40
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					5005.96

INSUMOS S. Córdoba	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	7.00		418.00	2926.00
Metsulfuron Metil	kg/ha	0.01		418.00	4.18
2,4 D 100%	L/ha	0.50		418.00	209.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Roundup Max	kg/ha	1.10		418.00	459.80
Decis Forte	L/ha	0.05		364.00	18.20
Lorsban 48 E	L/ha	1.40		364.00	509.60
Cipermetrina	L/ha	0.25		364.00	91.00
Endosulfan	L/ha	0.50		364.00	182.00
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					6318.66

INSUMOS O. Bs. As.	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha				
Roundup Full	L/ha	3.50		418.00	1463.00
Metsulfuron Metil	kg/ha	0.01		418.00	3.34
Semilla RR	kg/ha	70.00		16.62	1163.40
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.40		283.30	396.62
Fosfato Monoamónico 23% P	kg/ha	40.00	9.2	14.00	128.80
11% N			4.4	77.41	340.60
Roundup Max	kg/ha	2.70		418.00	1128.60
Lorsban 48 E	L/ha	1.40		364.00	509.60
Cipermetrina	L/ha	0.15		364.00	54.60
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					5324.57

INSUMOS S. Sgo. del Estero	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	7.00		418.00	2926.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Metsulfuron Metil	kg/ha	0.00		418.00	1.67
2,4 D 100%	L/ha	0.50		418.00	209.00
Lorsban 48 E	L/ha	1.40		364.00	509.60
Cipermetrina	L/ha	0.45		364.00	163.80
Endosulfan	L/ha	1.50		364.00	546.00
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					6274.95

INSUMOS Salta	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	6.00		418.00	2508.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Roundup Max	kg/ha	1.10		418.00	459.80
Decis Dan	L/ha	0.50		364.00	182.00
Lorsban 48 E	L/ha	1.40		364.00	509.60
Cipermetrina	L/ha	0.10		364.00	36.40
Taspa	L/ha	0.15		272.00	40.80
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					5655.48

INSUMOS Sudoeste Bs. As.	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	6.00		418.00	2508.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Superfosfato Triple	kg/ha	40.00	8	14.00	112.00
2,4 D 100%	L/ha	0.35		418.00	146.30
Lorsban 48 E	L/ha	0.70		364.00	254.80
Cipermetrina	L/ha	0.20		364.00	72.80
TOTAL					4876.78

Soja 2° SD

3548 Mj/ha

INSUMOS Sudeste Córdoba	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	2.50		418.00	1045.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Roundup Max	kg/ha	1.10		418.00	459.80
Decis Dan	L/ha	0.50		364.00	182.00
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					3605.68

INSUMOS N. Bs. As./S. Sta. Fe	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	2.50		418.00	1045.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Pivot H	L/ha	0.50		418.00	209.00
Decis Dan	L/ha	0.50		364.00	182.00
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					3354.88

INSUMOS N. Bs. As./S. Sta. Fe	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	2.50		418.00	1045.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Roundup Max	kg/ha	1.10		418.00	459.80
Decis Dan	L/ha	0.50		364.00	182.00
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					3605.68

INSUMOS Oeste Bs. As.	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Glifosato	L/ha	2.00		418.00	836.00
Semilla RR	kg/ha	80.00		16.62	1329.60
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.60		283.30	453.28
Roundup Max	kg/ha	1.30		418.00	543.40
Lorsban 48 E	L/ha	0.70		364.00	254.80
Cipermetrina 25%	L/ha	0.20		364.00	72.80
Opera	L/ha	0.50		272.00	136.00
TOTAL					3625.88

Soja 1°SD Tecn. Punta

4427 Mj/ha

INSUMOS	Unidad	Cantidad unidad/ha	Cantidad ppio. activo unidad/ha	Energía Mj/unidad	Energía MJ/ha
Semilla RR	kg/ha	60.00		16.62	997.20
Inocul.+ Fungicida	L/ha	1.20		283.30	339.96
Roundup Full	L/ha	4.00		418.00	1672.00
Roundup Max	kg/ha	1.50		418.00	627.00
Fertilizante Azufre S-15	kg/ha	120.00	18	6.04	108.72
Decis 5%	L/ha	0.10		364.00	36.40
Lorsban 48 E	L/ha	1.40		364.00	509.60
Cipermetrina	L/ha	0.15		364.00	54.60
Fungicida Sphere	L/ha	0.30		272.00	81.60
TOTAL					4427.08

