

TRABAJO FINAL DE GRADUACION

BALANCE ENERGETICO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES:

BIODIESEL Y BIOETANOL

Autores: Cortabarría, Gabriel
Schiavetta, Marco Federico

Director: Iglesias, Daniel

Tribunal evaluador: D`adam, Héctor
Zanotti, Norberto

Cátedra: Economía de los Recursos Naturales y el Ambiente

Carrera: Licenciatura en Administración de Negocios Agropecuarios

Institución: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa

Año: 2009

Índice

1. <u>RESUMEN</u>	Pág. 2
2. <u>INTRODUCCION</u>	Pág. 3
- <i>Definiciones</i>	Pág. 9
- <i>Antecedentes bibliográficos</i>	Pág. 10
- <i>Hipótesis</i>	Pág. 11
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	Pág. 12
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	Pág. 15
4.1. Resultados	Pág. 15
- <i>Biodiesel: energía consumida en las diferentes etapas</i>	Pág. 15
- <i>Biodiesel: energía producida</i>	Pág. 18
- <i>Bioetanol: energía consumida en las diferentes etapas</i>	Pág. 20
- <i>Bioetanol: energía producida</i>	Pág. 22
4.2. Discusión	Pág. 24
- <i>Biodiesel</i>	Pág. 24
- <i>Bioetanol</i>	Pág. 26
5. <u>CONCLUSIONES</u>	Pág. 29
6. <u>AGRADECIMENTOS</u>	Pág. 30
7. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	Pág. 31
8. <u>ANEXOS</u>	Pág. 34
- <i>Anexo I</i>	Pág. 34
- <i>Anexo II</i>	Pág. 36
- <i>Anexo III</i>	Pág. 39

1. RESUMEN:

La posible extinción a mediano plazo del aprovisionamiento de las reservas fósiles, la mayor incidencia de una conciencia ambientalista y la realidad concreta del deterioro del medioambiente, están modificando la matriz energética y reactivando la búsqueda de combustibles más amigables con el mismo, es por ello que los biocombustibles se han instalado en el centro de discusión.

El presente trabajo tiene como finalidad comprobar el balance energético de los biocombustibles, el biodiesel de soja y el bioetanol de maíz, a lo largo del ciclo de vida del producto en la provincia de La Pampa.

Para ello se utilizó el método de “análisis de ciclo de vida de producto” simplificado y revisión bibliográfica tanto del orden nacional como internacional.

Si bien nuestra región es apta para desarrollar ambos tipos de biocombustibles se puede apreciar que el balance energético del biodiesel de soja es muy superior al del bioetanol de maíz, es decir que la energía generada es mayor a la consumida.

Cabe mencionar que en el trabajo realizado no se tuvo en cuenta la energía consumida en los procesos de fabricación de los insumos utilizados en las diferentes etapas del ciclo de vida.

Un factor importante o a destacar es la energía generada por los subproductos ya que el balance energético difiere con la inclusión o no de los mismos.

PALABRAS CLAVES: Balance energético, Biodiesel, Bioetanol, Análisis de Ciclo de vida, energía generada, energía consumida.

2. INTRODUCCION:

El desarrollo del mundo moderno y su proceso industrial se ha desarrollado con el aprovechamiento de combustibles fósiles, el carbón y el petróleo; ellos, de relativamente fácil obtención, bajo costo de producción y fácil transporte, desplazaron a otras fuentes de energía, así como el carbón desplazó a la fuerza hidráulica y él fue luego remplazado por el petróleo, producto este último, que posteriormente también impidió la utilización de los carburantes biológicos, que como el aceite de maní se utilizaron en el desarrollo inicial de los motores diesel. Hoy, la posible extinción a mediano plazo del aprovisionamiento de estas reservas fósiles, la mayor incidencia de una conciencia ambientalista y la realidad concreta del deterioro del medioambiente, han modificado la situación precedente y reactivaron la búsqueda de combustibles más amigables con nuestro medio, es por ello que los biocombustibles se han instalado en el centro de discusión.

Lo que hace pocos meses era curiosidad verde, ahora están en boca del todo el mundo desparrramando oportunidades comerciales, al mismo tiempo que desatan un apasionado debate sobre sus virtudes, limitaciones y defectos.

La primera gran pregunta es ¿que son los biocombustibles? Los biocombustibles son combustibles de origen biológico, que sustituyen los combustibles tradicionales, se obtienen de manera renovable a partir de restos orgánicos; estos restos orgánicos proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. Esto no es una buena definición, porque el petróleo que explica el 80% de la energía que utiliza la humanidad, también es de origen biológico (Huergo, 2007)

La verdadera diferencia entre los derivados del petróleo y los biocombustibles es que los primeros son “fósiles” y los segundos “renovables”. El petróleo es fotosíntesis vieja, cuyos

frutos fueron enterrados hace millones de años. Hasta que a mediados del siglo XIX, los buscadores de agua para el ganado se encontraron con el oro negro, conocida como energía pretérita concentrada, que desde entonces se convirtió en el gran motor de la revolución industrial; pero su condición de fósil implica, sencillamente que su cantidad es limitada, aunque hubo o haya aun mucho, un día se terminara, mientras las necesidades aumentan, crece también la noción de que se va acabando.

A este paradigma de la escasez se sumo más recientemente, la problemática ambiental; los científicos descubrieron que la extracción y quema de petróleo –hasta entonces almacenado en las entrañas de la tierra- incrementa el tenor de dióxido de carbono del aire. Concluyendo que este mayor contenido de partículas provocaba el “efecto invernadero”, responsable del calentamiento global, este evento es considerado el mayor riesgo ecológico que afronta el planeta.

Con la firma del protocolo de Kyoto en el año 1997, en la ciudad japonesa del mismo nombre, el cual entra en vigor el 16 de febrero de 2005, se pretende frenar las emisiones de gases de efecto invernadero, este tratado medioambiental es el más ambicioso del mundo.

Se han barajado muchas alternativas para la sustitución de la energía fósil, pero la que prospero más rápido fue el uso de los biocombustibles, esto se acrecienta con las políticas de incentivo aplicadas por EEUU y Brasil para el desarrollo de los mismos.

Los dos biocombustibles en auge son el etanol, que sustituye parcialmente a las naftas y, el biodiesel, que va en lugar del gasoil; si bien ambos combustibles se dice que están en vías de desarrollo, según J. León Florez (2009) no son tan nuevos como parece :

- En el año 1911 Rudolph Diesel utilizo los acetites vegetales como combustibles en sus motores diesel y fue quien predijo el uso de los biocombustibles.

- Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en el año 1982 en Austria y Alemania.
- En el año 1975 el gobierno brasilero desarrollo el programa PROALCOHOL a raíz de la crisis del petróleo para fomentar el uso y la producción de etanol, con la finalidad de reducir la dependencia del país respecto a las importaciones de combustibles fósiles.
- En 1978 el gobernador de la Provincia de Tucumán Lino Domingo Montiel Forzano inicia acciones destinadas a imponer el uso del alcohol en mezclas con motonaftas. El programa establecía una obligatoriedad de mezcla en 12 provincias argentinas del 15% de alcohol en las naftas, con una exención total de impuestos sobre la parte de alcohol que se mezclaba, como el negocio no fue rentable se abandono el programa.

Actualmente la Unión Europea proyecta cortar todo su gasoil con un 5,7% de biodiesel para el 2010. Estados Unidos quiere remplazar el 20% de su consumo de petróleo en diez años, apelando al etanol elaborado a base de maíz, cuyo consumo está creciendo en forma explosiva.

Los principales actores a nivel mundial como se puede observar en la tabla N° 1 son Estados Unidos y Brasil en cuanto a producción de etanol, en lo que respecta a biodiesel tenemos a Alemania como principal productor seguido de Estados Unidos y Francia, ambos con similares producciones.

Tabla N° 1: Producción Mundial de Biocombustibles 2007, expresados en millones de Tn

<i>Producción Mundial de Etanol</i>		<i>Producción Mundial de Biodiesel</i>	
<i>Estados Unidos</i>	19,5	<i>Alemania</i>	2,0
<i>Brasil</i>	14,9	<i>Estados Unidos</i>	1,2
<i>Unión Europea</i>	1,8	<i>Francia</i>	1,15
<i>China</i>	1,3	<i>Italia</i>	0,55
<i>Otros</i>	2,0	<i>Otros</i>	3,0
<i>Total*</i>	39,5	<i>Total**</i>	7,9

* Equivalentes al 4 % del consumo de gasolina sector transporte

** Equivalentes al 1 % del consumo de diesel sector transporte

Fuente: Flórez, J. León

Tal como lo dice Héctor Huergo (2007) ,la Argentina es el primer exportador mundial de aceite de soja y girasol, (dos materias primas adecuadas para producir biodiesel) también es el segundo exportador mundial de maíz, aunque la expansión en los EE.UU puede determinar que en pocos años suba al escalón más alto del podio y Brasil acortara la brecha con respecto a nuestro país; sin embargo la producción de soja en nuestro país crece a un ritmo superior al 10% anual, acompañado por el aumento de la capacidad de crushing (molienda para la extracción de aceite). El aceite en su mayoría se exporta crudo, pero la creciente elaboración de biocombustibles argentinos reduciría las ventas al exterior del derivado de soja. (IICA, 2009)

En Argentina existe un marco legal que busca promover el uso y desarrollo de los biocombustibles. En abril del año 2006 el congreso aprobó la ley 26.093 y fue reglamentada en febrero del 2007 por el Poder Ejecutivo; dicha norma contempla que para el 2010 las naftas deberán tener un 5% de bioetanol y el gasoil un 5% de biodiesel.

La ley 26093 parece insuficiente como para desatar inversiones que apunten al mercado interno, mientras tanto, se advierte una creciente escasez de gasoil, con las refinerías de petróleo trabajando a pleno.

Argentina produce y exporta 5 millones de toneladas de aceite y tiene capacidad para procesar un 50% más. Un tercio de de la soja todavía sale como grano y se sabe que un litro de aceite da un litro de biodiesel, es decir el país esta en condiciones de sustituir ya la mitad de su gasoil por este biocombustible y pasar a ser exportador de ambos. (Ver anexo I)

Se están construyendo varias plantas de escala competitiva para el mercado internacional, el mundo ve a la Argentina como un gran proveedor natural de materia prima y biodiesel, a partir de la competitividad de su clúster sojero instalado a la vera del río Paraná, (al norte y al sur de Rosario), pero no la ve como un actor decisivo en el negocio de etanol de maíz, cuyas plantas requieren inversiones muchos mayores.

En la actualidad los dos grandes cuestionamientos que se generan contra los biocombustibles son su baja eficiencia energética y su competencia con los alimentos, Según Huergo (2007) el primero carece de base científica: una hectárea de soja entrega 3000 Kg. de semilla (rinde nacional), de la que se obtienen 500 litros de aceite (que dan aproximadamente 500 litros de biodiesel) y 2300 kilos de harina de alto contenido proteico, destinado a la alimentación humana y animal.

La soja no requiere nitrógeno, un fertilizante de alto costo energético y como se produce cerca de la zona de consumo, se reduce el costo energético del transporte respecto al petróleo, que siempre queda “lejos”.

El etanol de maíz es menos eficiente, porque requiere la utilización de nitrógeno que todavía proviene del gas.

Florez, J. León (2009), vicepresidente de Refinación y Petroquímica, Ecopetrol comenta que hay versiones opuestas sobre la competencia de los biocombustibles con los alimentos, a modo de ejemplo da que si un día el precio del trigo vario un 20% en la bolsa de Chicago, como las fuertes subas y bajas de los precios de diferentes cultivos en solo semanas, a esto no se le puede buscar una explicación en el desarrollo de los biocombustibles.

Así y todo la biotecnología está aportando saltos productivos fenomenales, que mejoran el balance energético. La combinación de actividades, como el engorde de vacunos a corral con sistemas de recolección de las heces, abre una perspectiva más promisorio cada día. La bosta de los animales alimentados con maíz se fermenta para producir biogás, y este se destina a la planta de elaboración de etanol que utiliza la misma materia prima (el maíz).

Estos modelos productivos ya están en desarrollo en los Estados Unidos, y en la Argentina hay un gran proyecto en marcha.

El debate recién empieza, lo concreto es que las fuerzas que impulsan el empleo creciente de los biocombustibles llegaron para quedarse, son una alternativa frente al “oil power”, una contribución para atenuar el efecto invernadero, una oportunidad para el desarrollo de las economías agrícolas, que son clave en la mayor parte de los países en vías de desarrollo. Inversiones, empleo, diversificación de la matriz energética, nuevos actores en viejos negocios, alternativas para nuevas pymes y para los productores del campo, que han vivido en los últimos cincuenta años un continuo deterioro de sus términos de intercambio, que ahora se revierten.

A raíz de esto surgió la necesidad de ver el balance energético de los biocombustibles en base a soja y a maíz que son los dos cultivos aptos para desarrollar en nuestra región.

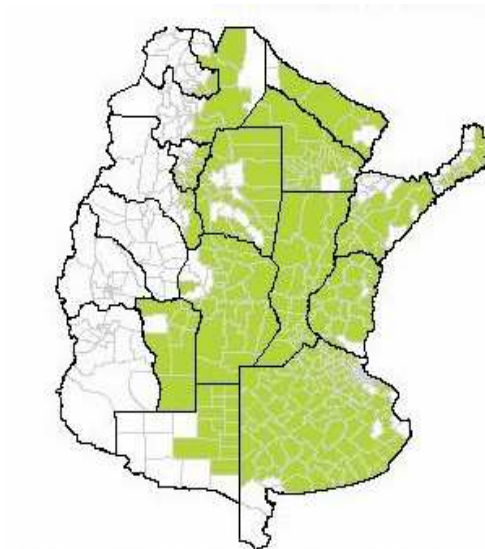


Figura N°1: Zonas de producción de soja
Fuente: SAGPyA

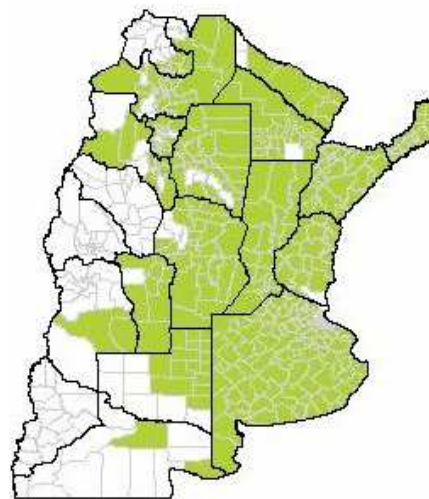


Figura N° 2: Zonas de producción de maíz
Fuente: SAGPyA

Para satisfacer esta necesidad se utilizara el método de análisis de ciclo de vida de producto – ACV- (También conocido como evaluación de ciclo de vida –ECV- o internacionalmente como life cycle assesment –LCA-), que es relativamente nuevo en el sector agroalimentario, y nos permite detectar situaciones en la que un sistema parece “más limpio” que otro, simplemente porque transfiere cargas ambientales a otros procesos o región geográfica sin un mejoramiento real desde el punto de vista global (Iglesias, 2004).

Definiciones

Los biocombustibles son productos destinados a la combustión en motores o calderas, obtenidos a partir del procesamiento de distintos elementos de la biomasa, los más difundidos son el biodiesel y el bioetanol.

El **biodiesel** es un combustible de origen renovable complementario o sustitutivo del combustible diesel, producido a partir de la transformación de aceites vegetales (nuevos o usados) o grasas animales, en presencia de un catalizador. O bien a partir de la esterificación de ácidos grasos. A modo de ejemplo la regla de conversión es de 1,03 toneladas de aceite vegetal crudo por cada tonelada de biodiesel. Quedan glicerol y ácidos grasos como subproductos. En caso de que el glicerol es refine, se puede obtener un tipo de glicerina en

una cantidad cercana al 10% del total del biodiesel. Este último se puede utilizar puro o en diversos cortes, aunque el uso más popular es en cortes al 5%, que da un producto conocido como “B5”. (Huergo, 2007)

El **bioetanol** es otro combustible de origen renovable, complementario o sustitutivo a las naftas o gasolinas, producido a partir de la fermentación y destilación de azúcar de caña o de remolacha azucarera, o la sacarificación, fermentación y destilación de cereales (como maíz) o materias primas lignocelulosicas. La regla de conversión es de 20 toneladas de caña de azúcar, por cada tonelada de alcohol (quedando bagazo aprovechable en la cogeneración de energía eléctrica y CO₂ como subproductos), o bien 3,5 toneladas de cereales por cada tonelada de alcohol (quedando granos y solubles secos destilados –DDGS- y CO₂ como subproductos). Se puede utilizar puro el producto hidratado –con una pureza al 95,8%- siempre y cuando los vehículos tengan los motores adaptados a tal fin, como ocurre con una buena parte del parque automotor brasileño. Pero el mundo tiende al uso del etanol anhidro o absoluto, el que puede cortarse con las naftas. (Huergo, 2007)

Antecedentes bibliográficos

La cantidad de energía requerida para producir agro-combustibles puede ser igual o mayor que la energía contenida en el producto final dependiendo de la materia prima y el proceso agro-industrial. Por ejemplo el etanol de maíz puede tener una relación de 0,83 (es decir, entrega menos energía que la que requiere para su fabricación) mientras el de caña de azúcar alcanzaría un valor 10 veces superior: 8,32. Por su parte el biodiesel de soja tiene una relación de 2,54 en tanto el biodiesel de palma aceitera contienen 10,34 veces más energía que la necesaria para fabricarlo (Ballenilla, 2007).

Según Sheman et al, (2005) el proceso de elaboración de biodiesel de soja tiene un balance final de 3,1; teniendo en cuenta todas las etapas del ACV.

Se realizaron otros trabajos que hacen referencia al balance energético de los biocombustibles, en donde existen diferentes opiniones sobre el resultado, entre ellos podemos citar: Pimentel y Patzek,(2006) establecen que los resultado del balance son negativos tanto para el biodiesel de soja como el bioetanol de maíz, se gasta más energía fósil para producir que el equivalente energético en biocombustibles, la relación es de 0,778 para el maíz y 0,534 para la soja, obtienen estos valores porque no tienen en cuenta la energía contenida en los subproductos, pero si incluyen en sus cálculos la energía necesaria para construir las plantas procesadoras, la maquinaria agrícola y la mano de obra que no se suelen incorporar en estos tipos de análisis. Lobato(2007) a través del análisis del ciclo de vida del producto aplicado a la producción de biodiesel de soja y bioetanol de maíz llega a la conclusión que el balance energético es positivo.

En este trabajo se plantea analizar el balance energético del biodiesel de soja y el del bioetanol de maíz, dos cultivos que se realizan en nuestra región, planteándose las siguientes hipótesis:

- El balance energético de los biocombustibles es positivo a lo largo del ciclo de vida del producto.
- El balance energético del biodiesel de soja es mayor que el balance energético del bioetanol de maíz.

3. MATERIALES Y MÉTODOS:

El enfoque metodológico a utilizar será el de “análisis de ciclo de vida del producto (ACV) simplificado”, ya que solo se evaluará el balance energético a lo largo del ciclo de vida del biodiesel de soja y el bioetanol de maíz sin tener en cuenta algunos insumos que generarían un consumo de energía como la de fabricación de maquinarias, fabricación de plantas de procesamiento, fabricación de camiones, etc.

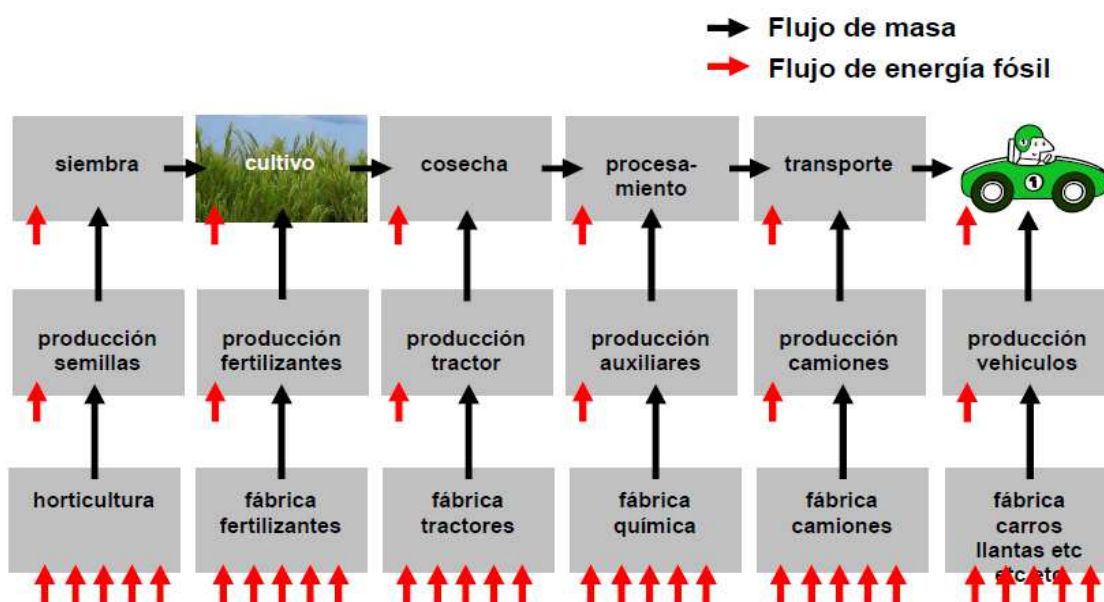


Figura N° 3: Esquema del ciclo de vida del producto.

Fuente: Flórez J León, Conferencia ARPEL, Uruguay 2009.

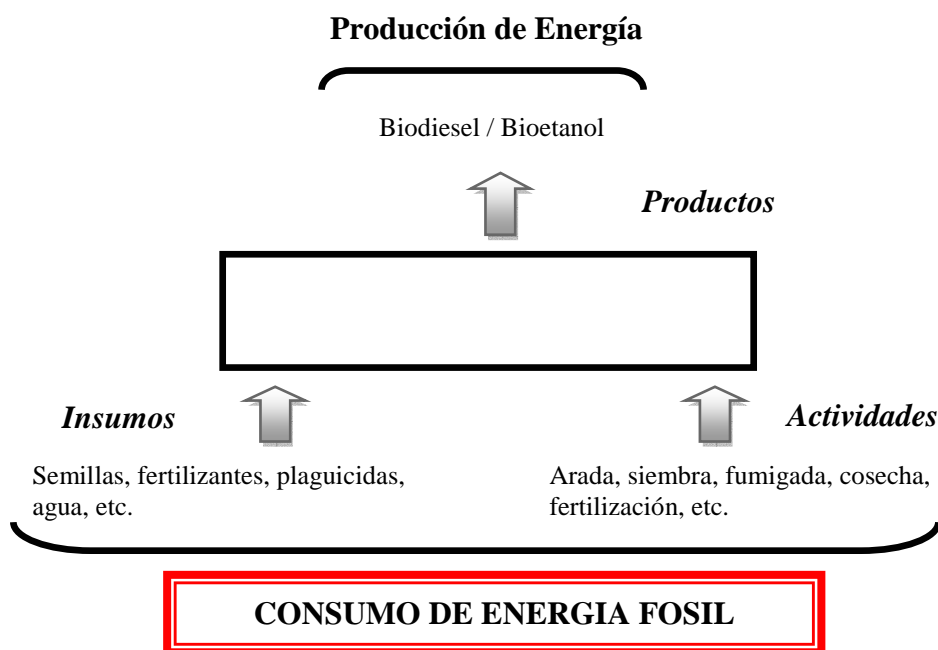
“El ACV simplificado preserva el enfoque del ACV para llegar a una aplicación más simple del método, que cubra por ejemplo todo el ciclo de vida, pero con una evaluación de impactos simple y una evaluación de fiabilidad de los resultados” (K. Christiansen, 1997).

Por Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se entiende el proceso objetivo dirigido hacia la evaluación de cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, para ello será necesario identificar y cuantificar el uso de materias, energía y vertidos al entorno; para

determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente, y para llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. (Fullana y Puig, 1997).

En la primera etapa será utilizado el indicador de consumo de energía fósil sacado del AgroEcoIndex, el cual es un software desarrollado por el Ing. E. Viglizzo et, al (2006) para evaluar diferentes indicadores energéticos en empresa o sistemas agropecuarios.

Dicho indicador se estima mediante una metodología sencilla basada en sumar el costo energético en megajoule de EF/ha/año de distintos insumos (plaguicidas, fertilizantes, concentrados, semillas, etc.) y distintas actividades agropecuarias (arada, rastreada, siembra, fumigación, etc.)



***Figura N°4:* Esquema de consumo de energía fósil.**

Fuente: Viglizzo et al, 2006.

Para desarrollar esta etapa se tomo como referencia la zona del noreste de La Provincia de La Pampa, la cual es la región de la provincia más apta para desarrollar el cultivo de soja y maíz.

Para la producción de soja la técnica de trabajo, que se aplica en dicha región, es la siembra directa implantando principalmente soja de primera.

La densidad de siembra para el cultivo de soja es de 90 kg/ha, aplicando 80kg/ha de fertilizante al momento de la siembra, se hacen 3 pasadas de pulverización terrestre y una aérea, la semilla que se utiliza es Don Mario RR, el rinde promedio es de 2500 kg/ha.

La cosecha del grano se realiza con una humedad del 16% para evitar pérdidas y quebraduras de los granos.

Para la producción de maíz como en casi toda la zona se utiliza la técnica de siembra directa, la densidad de siembra es de aproximadamente 20 kilos por hectárea, aplicando 100 kg/ha de urea y 100 kg/ha de fosfato di amónico, se realizan dos aplicaciones terrestres, el rinde promedio en esta zona es de aproximadamente 8500 kg/ha.

Luego para el análisis de las demás etapas del ciclo se analizarán diferentes bibliografías y estudios realizados por otras instituciones tanto nacionales como internacionales en donde se obtuvieron diferentes indicadores energéticos.

Para llevar a cabo el estudio del balance energético la unidad funcional seleccionada es la energía por unidad de volumen de biocombustible producida expresada en MJ/L (megajoule por litro).

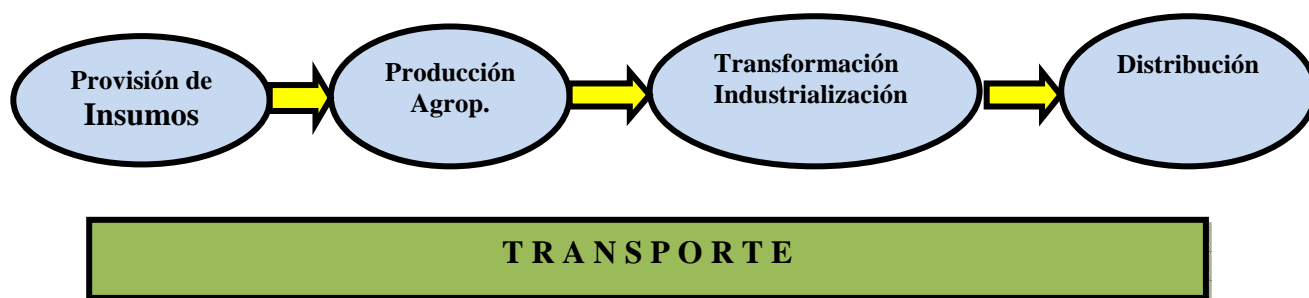


Figura N° 5: Esquema de producción de biocombustible.

Fuente: Elaboración Propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

4.1. RESULTADOS

$$\text{Balance Energético} \Rightarrow \frac{\text{Energía Producida}}{\text{Energía Consumida}}$$

Energía Producida expresada en MJ/L = Poder calorífico del biocombustible

Energía Consumida expresada en MJ/L = Energía Consumida Etapa agrícola + Energía consumida en el Transporte + Energía consumida en el acopio + energía consumida en la industrialización.

Biodiesel: Energía Consumida en las diferentes etapas

Etapa Primaria

El consumo de energía fósil según datos obtenidos del AgroEcoIndex es de 3460,9 MJ/ha/año, si decimos que el rinde es de 2500 kilos podríamos decir que el uso de energía fósil para una tn es de 1384,36 MJ/Tn de soja y para producir 1 litros de biodiesel se consumen 7,69 MJ/l (1384,36MJ/Tn / 180 L) producido.

Etapa Industrial

Esta etapa la dividimos en dos fases:

La fase 1 se inicia con el arribo del grano a planta de acopio el cual es acondicionado: el grano arriba con una humedad de 16% y es llevado a 13% de humedad por tonelada. Dicho

proceso de secado tiene un consumo de 10.000 Kcal/tn¹ procesada por punto de secado, llevándolo a MJ/Tn nos daría un consumo de de 41, 87 Mj/tn por punto de secado.

Si la humedad inicial es de 16% se debe bajarlo 3 puntos para llevarlo a 13%, por ende el consumo es de 30000kcal/tn equivalente a 125,6 MJ/tn o sea 0,69 MJ/L de biodiesel

La fase 2 empieza con el arribo del grano acondicionado a la planta de biodiesel, 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 una tercer tipo de proceso que es la combinación de ambos. (Ver Anexo II).

Los valores relevados, en la etapa industrial, de consumo energético por litro de biocombustible producido, en función de las distintas fuentes consultadas oscilan entre los 8 MJ/L y los 15 MJ/L (Lobato et al ,2007).

Los resultados abarcan la extracción de aceite (más comúnmente realizada por prensado y solvente) y la transformación del mismo a biodiesel de soja.



Figura N° 6: Proceso de elaboración de biodiesel.

Fuente: Elaboración Propia.

¹ Datos obtenidos Huerga I., et al 2008

Etapa Transporte

La fase del transporte del biodiesel de soja la hemos dividido en tres etapas:

- Etapa 1: está constituida por el transporte del grano desde el campo hasta la planta de acopio.
- Etapa 2: está constituida por el transporte del grano desde el acopio hasta la planta aceitera.
- Etapa 3: comprende el traslado desde la planta al centro de expendio.

Para la primera etapa, comúnmente llamada flete corto, el consumo es de 2 litros de gasoil por Tn transportada.²

Para la segunda etapa, generalmente llamada flete largo el consumo es de 7,7 litros de gasoil por tn transportada.³

La tercera etapa, sale de hacer un promedio entre la etapa 1 y la etapa 2 obteniéndose un consumo de 4,8 litros por tn transportada.⁴

Sabiendo que el poder calorífico del gasoil es de 8000kcal/litro y que 1 MJ es igual a 238,85 Kcal transformado el consumo a MJ sería el siguiente:

- 66,99 MJ/tn para la primer etapa ($8000 \text{ Kcal/l} \times 2 \text{ litros} = 16000 \text{ Kcal} / 238,85 \text{ kcal} = 66,99 \text{ MJ/Tn}$)
- 257,9 MJ/tn para la segunda etapa ($8000 \text{ kcal/l} \times 7,7 \text{ litros} = 61600 \text{ Kcal} / 238,85 \text{ kcal} = 257,9 \text{ MJ/tn}$)
- 160,77 MJ/Tn para la etapa 3 ($8000 \text{ kcal/l} \times 4,8 \text{ litros} = 38400 \text{ Kcal} / 238,85 \text{ kcal} = 160,77 \text{ MJ/Tn}$)

² Datos obtenidos de Huerga I., et al (2008)

³ Datos obtenidos de Huerga I, et al 2008

⁴ Datos obtenidos de Huerga I, et al 2008

Si con una tonelada de soja se producen 180 litros de biodiesel de soja el consumo por litro de biodiesel para las diferentes etapas sería el siguiente

- 0,371 MJ/l de biodiesel para la etapa 1 ($66,99 \text{ MJ/tn} / 180 \text{ L/tn} = 0,371 \text{ MJ/l}$)
- 1,43 MJ/l de biodiesel para la etapa 2 ($257,9 \text{ MJ/tn} / 180 \text{ L/tn} = 1,43 \text{ MJ/l}$)
- 0,89 MJ/l de biodiesel para la etapa 3 ($160,77 \text{ MJ/tn} / 180 \text{ L/tn} = 0,89 \text{ MJ/l}$)

Por ende el total de energía consumida en esta etapa es de 2,69 MJ/L.

El consumo total de energía fósil para producir un litro de biocombustible es de 19,07 MJ/L utilizando el mínimo de la etapa industrial y si utilizamos un máximo el consumo sería de 26,07 como se expresa en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Consumo de energía fósil por litro de biocombustible expresado en MJ/L para cada una de las etapas.

<i>Cultivo</i>	<i>Primaria MJ/L</i>	<i>Total Transporte MJ/L</i>	<i>Acopio MJ/L</i>	<i>Industrial (MJ/L)</i>		<i>Total (MJ/L)</i>	
				<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<i>Soja</i>	7,69	2,69	0,69	8	15	19,07	26,07

Fuente: elaboración propia

Biodiesel: Energía producida por el producto y subproductos directo e indirecto.

Como producto principal se obtiene el biodiesel y como subproducto directo la glicerina y la harina de soja como subproducto indirecto, los cuales se deben tener en cuenta ya que representan el 70 % de la energía generada.

La energía generada por el biocombustible y por los subproductos se mide en base al poder calorífico de los mismos, el cual es de 35MJ/L para el biodiesel y 16,5 MJ/kg para la glicerina y para la harina se tomara en cuenta la energía bruta de la misma la cual es de 18 MJ/kg, en la

tabla N° 3 se puede ver la energía generada por los subproductos por litro de biodiesel producido, para poder convertir los distintos valores energéticos de los sub productos a la unidad funcional establecida de MJ/L se realizaron los siguientes cálculos teniendo en cuenta distintas consideraciones según fuentes consultadas:

De una tonelada de soja o 180 litros de biodiesel, se obtienen aproximadamente 810 kg de harina, que equivale a 4,50 kg de harina por litro de biodiesel (810Kg/180L), por ende el total de energía generada por litro de biodiesel será de 81 MJ/L (4,5 kg/l x 18MJ/kg).

De una tonelada de soja o 180 litros de biodiesel también se obtiene aproximadamente 18,7 kg de glicerina, que equivale a 0,104 kg de glicerina por litro de biodiesel (18,7kg/180L), lo cual es igual a 1,72 MJ/L (0,104 kg/l x 16,5 MJ/kg).

Tabla N°3: Energía producida por subproductos por litro de biodiesel

<i>Subproducto</i>	<i>Energía Producida</i>
<i>Harina (Indirecto)</i>	<i>81 MJ/L</i>
<i>Glicerina (directo)</i>	<i>1,72 MJ/L</i>
<i>Total</i>	<i>82,72 MJ/L</i>

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N°4 se expresa el balance energético del biodiesel, el cual se ve afectado por el uso o no del subproducto.

Tabla N° 4: Balance energético por litro de biodiesel producido

	Con Subproducto		Sin Subproducto	
	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>
<i>Energía Consumida (MJ/L)</i>	<i>19,07</i>	<i>26,07</i>	<i>19,07</i>	<i>26,07</i>
<i>Energía Producida (MJ/L)</i>	<i>117,72</i>	<i>117,72</i>	<i>35</i>	<i>35</i>
<i>Balance Energético</i>	<i>6,17</i>	<i>4,51</i>	<i>1,83</i>	<i>1,34</i>

Fuente: Elaboración Propia

Bioetanol: Energía Consumida en las diferentes etapas

Etapas Primarias

Según los resultados obtenidos en el AgroEcoIndex el consumo de energía fósil para el maíz es de 13160,5 MJ/ha/año, si decimos que el rinde es de 8500 kilos podríamos decir que el uso de energía fósil para una tn es de 1548,29 MJ/tn de Maíz, que para producir 1 litro de bioetanol se consumen 3,87 MJ/l producido ($1548,29 \text{ MJ/Tn} / 400 \text{ L}$).

Etapas industriales

La fase 1 se inicia con el arribo del grano a planta de acopio el cual es acondicionado: el grano arriba con una humedad del 18 % y es llevado a 14,5 % de humedad por tonelada. Dicho proceso de secado tiene un consumo de 10.000 Kcal/tn procesada por punto de secado, llevándolo a MJ/Tn nos daría un consumo de 41,87 MJ/tn por punto de secado.

Si la humedad inicial es de 18% se debe bajarlo 3,5 puntos para llevarlo a 14,5%, por ende el consumo es de 35000 Kcal/tn equivalente a 146,54 MJ/tn o sea 0,37 MJ/L.

La fase 2 se da cuando el grano arriba a planta de producción de bioetanol, para procesar los granos se utiliza la molienda seca o la molienda húmeda. (Ver Anexo III)

Según el Ing. Jorge Medina (2008) en su estudio exploratorio el consumo energético para los distintos tipos de molienda es el siguiente:

- Para la molienda Seca el máximo es de 18,13 MJ/L y el mínimo es de 11,15 MJ/L.
- Para la molienda Húmeda el máximo es de 15,12 MJ/L y el mínimo es de 10,10 MJ/L.

Etapa Transporte

Esta fase de transporte del bioetanol la hemos dividimos en tres etapas como lo hemos hecho con la fase de transporte del biodiesel.

- Etapa 1: está constituida por el transporte del grano desde el campo hasta la planta de acopio.
- Etapa 2: está constituida por el transporte del grano desde el acopio hasta la planta aceitera.
- Etapa 3: comprende el traslado desde la planta al centro de expendio.

El consumo energético para cada una de las etapas es el siguiente:

Para la primera etapa, el consumo es de 2 litros de gasoil por Tn transportada.

Para la segunda etapa, el consumo es de 7,7 litros de gasoil por tn transportada.

La tercera etapa, el es de consumo de 4,8 litros por tn transportada.

Sabiendo que el poder calorífico del gasoil es de 8000kcal/litro y que 1 MJ es igual a 238,85 Kcal transformado el consumo a MJ sería el siguiente:

- 66,99 MJ/tn para la primer etapa ($8000 \text{ Kcal/l} \times 2 \text{ litros} = 16000 \text{ Kcal} / 238,85 \text{ kcal} = 66,99 \text{ MJ/Tn}$).
- 257,9 MJ/tn para la segunda etapa ($8000 \text{ kcal/l} \times 7,7 \text{ litros} = 61600 \text{ Kcal} / 238,85 \text{ kcal} = 257,9 \text{ MJ/tn}$).
- 160,77 MJ/Tn para la etapa 3 ($8000 \text{ kcal/l} \times 4,8 \text{ litros} = 38400 \text{ Kcal} / 238,85 \text{ kcal} = 160,77 \text{ MJ/Tn}$).

Si con una tonelada de Maíz se producen 400 litros de bioetanol de Maíz, sea por molienda seca o por molienda húmeda, el consumo por litro de bioetanol para las diferentes etapas sería el siguiente:

- 0,17 MJ/l de bioetanol para la etapa 1 ($66,99 \text{ MJ/tn} / 400 \text{ L/tn} = 0,17 \text{ MJ/l}$).

- 0,65 MJ/l de bioetanol para la etapa 2 ($257,9 \text{ MJ/tn} / 400 \text{ L/tn} = 0,65 \text{ MJ/l}$).
- 0,40 MJ/l de bioetanol para la etapa 3 ($160,77 \text{ MJ/tn} / 400 \text{ L/tn} = 0,40 \text{ MJ/l}$).

Por ende el total de energía consumida en esta Fase de Transporte es de 1,22 MJ/L.

El total de energía consumida teniendo en cuenta los diferentes tipos de molienda se expresan en la tabla N° 5.

Tabla N° 5: Consumo de energía fósil para cada una de las etapas

<i>Cultivo</i>	<i>Primaria MJ/L</i>	<i>Total Transporte MJ/L</i>	<i>Acopio MJ/L</i>	<i>Industrial (MJ/L)</i>		<i>Total (MJ/L)</i>	
				<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<i>Maíz MS</i>	3,87	1,22	0,37	11,15	18,13	16,61	23,59
<i>Maíz MH</i>	3,87	1,22	0,37	10,10	15,12	15,56	20,58

MH: Molienda Húmeda; MS: Molienda Seca.

Fuente: Elaboración propia

Bioetanol: Energía Producida por el producto y el subproducto

El producto final obtenido es el bioetanol con un poder calorífico de 22,5 MJ/L, en la etapa de extracción del almidón para producir el etanol se obtiene diferentes subproductos, como lo es el anhídrido carbónico para la molienda seca con un poder calorífico de 3,7 MJ/Kg y para la molienda húmeda se obtiene el gluten feed, el gluten meal y germen que poseen un poder calorífico de 4,1 MJ/Kg, en la tabla N°6 se puede apreciar la energía generada por los subproductos por litro de bioetanol producido según el tipo de molienda.

Para poder convertir dichos valores a la unidad funcional establecida (MJ/L) tal como sucedió con el biodiesel, se realizaron los siguientes cálculos:

Con una tn de maíz se obtienen 400 L de bioetanol y 338kg de anhídrido carbónico el cual tiene un poder calorífico de 3,7 MJ/Kg, por ende en un litro de bioetanol se obtendrían 0,84 Kg lo cual genera 3,1MJ/L ($338 \text{ Kg}/400\text{L} = 0,84 \text{ Kg/L} \times 3,7 \text{ MJ/Kg} = 3,1 \text{ MJ/L}$)

Con una tn de maíz se obtienen 400 L de bioetanol y 323 kg de subproductos (glútenes y germen) que poseen un poder calorífico de 4,1 MJ/Kg, en un litro de bioetanol se obtendrían 0,81 kg de subproductos los cuales generan 3,32 MJ/L ($323\text{Kg}/400\text{L} = 0,81\text{Kg/L} \times 4,1 \text{ MJ/Kg} = 3,32 \text{ MJ/L}$).

Tabla N° 6: Energía producida por subproductos por litro de bioetanol obtenido por tipo de molienda

Molienda Húmeda		Molienda Seca	
<i>Subproducto</i>	<i>Energía Producida</i>	<i>Subproducto</i>	<i>Energía Producida</i>
<i>Gluten</i>	3,32MJ/L	<i>Anhídrido Carbónico</i>	3,1 MJ/L
<i>Germen</i>			
Total	3,32MJ/L	Total	3,1 MJ/L

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla N° 7 y N° 8 el balance energético del bioetanol varía según el tipo de molienda y la inclusión o no de los subproductos.

Tabla N° 7: Balance energético por litro de bioetanol obtenido por tipo de molienda teniendo en cuenta los subproductos.

	Molienda Seca		Molienda Húmeda	
	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>
Energía Consumida MJ/L	16,61	23,59	15,56	20,58
Energía Producida MJ/L	25,6	25,6	25,82	25,82
Balance Energético	1,54	1,08	1,66	1,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8: Balance energético por litro de bioetanol obtenido por tipo de molienda sin tener en cuenta el subproducto.

	Molienda Seca		Molienda Húmeda	
	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>
<i>Energía Consumida MJ/L</i>	16,61	23,59	15,56	20,58
<i>Energía Producida MJ/L</i>	22,5	22,5	22,5	22,5
<i>Balance Energético</i>	<i>1,35</i>	<i>0,95</i>	<i>1,44</i>	<i>1,09</i>

Fuente: Elaboración propia

4.2. DISCUSIÓN

Biodiesel

A raíz de los datos obtenidos del análisis del ciclo de vida simplificado podemos observar que el mayor consumo de energía fósil se da en la etapa industrial y en la etapa primaria respectivamente, siendo las etapas de transporte y acopio las de menor consumo energético (Ver Tablas N° 13 y N° 14), se debe tener en cuenta como ya hemos mencionado en el presente trabajo la gran importancia de los subproductos en el balance energético, para el caso del biodiesel si incluimos la energía aportado por los subproductos tenemos una relación energética de 6,17 utilizando el consumo mínimo de energía fósil de la etapa industrial y 4,51 utilizando el consumo máximo de energía fósil de la etapa industrial (Ver Tabla N° 4), esto quiere decir que se generan 6,17 y 4,51 unidades energéticas por cada unidad de energía fósil consumida respectivamente, sino se tienen en cuenta los subproductos la relación energética disminuye a 1,83 utilizando el consumo mínimo de la etapa industrial y 1,34 utilizando el consumo máximo de la etapa industrial. (Ver Tabla N°4)

Como se observo la mayor eficiencia se da cuando se tiene en cuenta la energía generada por los subproductos y cuando se utiliza el consumo mínimo de energía fósil en la etapa

industrial, pero en todos los casos ya sea con mayor o menor eficiencia hay generación energética siendo siempre el balance energético positivo obteniéndose valores mayores a 1.

Si realizamos un análisis comparativo desde el punto de vista económico, analizando datos de Brasil (ver tabla n° 9) podemos decir que el cultivo más económico para realizar el biodiesel es el cultivo de algodón, seguido del cultivo de soja, siendo el más caro el cultivo de ricino, deduciendo que tanto la soja como el algodón son competitivos desde este tipo de enfoque.

Tabla N° 9: Costo del biodiesel según diferentes cultivos.

<i>Moneda</i>	<i>Soja</i>	<i>Algodón</i>	<i>Frijol</i>	<i>Girasol</i>	<i>Ricino</i>	<i>Palma</i>
<i>\$R/L</i>	1,717	1,446	2,492	1,806	2,654	2,464
<i>US\$/L</i>	0,952	0,802	1,382	1,001	1,472	1,366

Fuente: Elaboración propia en base a Benzecry (2008)

Otro tipo de análisis que se puede realizar para comparar los diferentes cultivos es en base a los rendimientos de biodiesel por hectárea producidos por cultivo en base al rinde promedio nacional de cada cultivo (Ver Tabla N° 10).

Tabla N° 10: Rendimiento de biodiesel por hectárea de diferentes cultivos

<i>Cultivo</i>	<i>Rinde Kg/ha</i>	<i>Litros de biodiesel / ha</i>
Jatrofa	2500	1419
Ricino	2500	1290
Colza	1800	929
Girasol	1950	906
Soja	2700	502
Algodón	930	154

Fuente: Schvarzer J. y Tavošnanska A. (2007).

Según muestra la tabla N° 10 el cultivo de soja origina 502 L/ha a pesar que el rinde promedio kg/ha es elevado, el girasol obtiene 906 L/ha es un numero bastante mejor que la soja, los más destacados son el ricino y la Jatrofa los cuales obtienen 1290 y 1419 L/ha respectivamente, viéndolo desde el punto de vista de la competencia de los biocombustibles vs alimentos estos dos cultivos son una buena alternativa para producir biodiesel utilizando menor cantidad de tierra disponible de manera que quede libre la necesaria para producir alimentos.

Bioetanol

El mayor consumo energético se da en la etapa industrial y en la etapa agrícola, al igual que el biodiesel el menor consumo energético se da en la etapa del transporte y el acopio. (Ver Tabla N° 13 y 14)

El balance energético del bioetanol realizado por molienda seca es de 1,54 unidades energéticas generadas por cada unidad de energía fósil consumida, utilizando el consumo mínimo de energía en la etapa industrial y 1,08 utilizando el consumo máximo (ver tabla N° 7); si el bioetanol es realizado por molienda húmeda el balance energético es de 1,66 utilizando el consumo mínimo de energía en la etapa industrial y 1,25 utilizando el consumo máximo (Ver tabla N° 7).

Si no se tuviese en cuenta a los subproductos el balance energético variaría, para el caso de la molienda seca dicho balance seria de 1,35 utilizando el consumo mínimo de la etapa industrial y 0,95 utilizando el consumo máximo (Ver tabla N° 8), en tanto el balance para la molienda húmeda es de 1,44 utilizando el mínimo en la etapa industrial y 1,09 utilizando el máximo de la etapa industrial (Ver tabla N° 8)

Cabe mencionar que en este análisis del ACV simplificado del etanol existe con mayor o menor eficiencia generación energética en casi todos los casos, a excepción de la molienda

seca utilizando el consumo máximo de energía fósil en la etapa industrial y sin tener en cuenta al subproducto, en el cual el balance es menor a 1 por lo tanto no hay generación energética como tampoco lo hay en la molienda húmeda utilizando el consumo máximo de la etapa industrial sin tener en cuenta la energía aportada por los subproductos, en donde el balance es prácticamente neutro, al igual que el caso de la molienda seca teniendo en cuenta al subproducto y el consumo máximo en la etapa industrial.

Si realizamos un análisis económico como lo hemos hecho con el biodiesel se puede ver que el etanol producido a partir de la caña de azúcar tiene un costo de producción mucho más económico que el resto de las materias primas. (Ver Tabla N° 11).

Tabla N° 11: Costo de producción de etanol por litro

<i>PAÍS</i>	<i>MATERIA PRIMA</i>	<i>US\$</i>
<i>Brasil</i>	<i>Caña de azúcar</i>	<i>0,15</i>
<i>EUA</i>	<i>Maíz</i>	<i>0,33</i>
<i>Europa</i>	<i>Trigo/Remolacha</i>	<i>0,51</i>

Fuente: NAE – Núcleo de asuntos estratégicos de la presidencia de la República de Brasil (2007)

Se comparamos los rendimientos promedios de la argentina (ver tabla N° 12), se puede ver que la caña de azúcar es el que más litros/ha produce ya que el rinde promedio es el más elevado, superando al maíz y al sorgo.

Tabla N° 12: Rendimiento de etanol por hectárea de distintos cultivos.

<i>Cultivo</i>	<i>Rinde Kg/Ha</i>	<i>Litros de Etanol/ha</i>
<i>Caña de azúcar</i>	<i>65000</i>	<i>4875</i>
<i>Maíz</i>	<i>7500</i>	<i>3000</i>
<i>Sorgo</i>	<i>5000</i>	<i>2000</i>

Fuente: Schvarzer J. y Tavošnanska A. (2007).

Tabla N°13: Balance comparativo biodiesel vs bioetanol teniendo en cuenta los subproductos.

Consumo de energía fósil por litro de biocombustible para cada etapa expresado en MJ/L										
Cultivo	Primaria	Transporte	Planta Acopio	Industrial		Consumo Total		Energía Producida MJ/L	Balance	
				Min.	Max.	Min.	Max.		Min.	Max.
Soja	7,69	2,69	0,69	8	15	19,07	26,07	117,72	6,17	4,51
Maíz MS	3,87	1,22	0,37	11,15	18,13	16,61	23,59	25,6	1,54	1,08
Maíz MH	3,87	1,22	0,37	10,1	15,12	15,56	20,58	25,82	1,66	1,25

MH= Molienda húmeda; MS= Molienda Seca

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14: Balance comparativo biodiesel vs bioetanol sin tener en cuenta los subproductos.

Consumo de energía fósil por litro de biocombustible en cada etapa expresado en MJ/L										
Cultivo	Primaria	Transporte	Planta Acopio	Industrial		Consumo Total		Energía Producida MJ/L	Balance	
				Min.	Max.	Min.	Max.		Min.	Max.
Soja	7,69	2,69	0,69	8	15	19,07	26,07	35	1,83	1,34
Maíz MS	3,87	1,22	0,37	11,15	18,13	16,61	23,59	22,5	1,35	0,95
Maíz MH	3,87	1,22	0,37	10,1	15,12	15,56	20,58	22,5	1,44	1,09

MH= Molienda húmeda; MS= Molienda Seca

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

- Analizando los valores obtenidos en el presente trabajo se da validez a la primera hipótesis de que el balance energético de los biocombustibles es favorable a lo largo del ciclo de vida del producto.
- Con respecto a la segunda hipótesis, esta también es aceptada debido a que el balance energético del biodiesel de soja es mayor al balance energético del bioetanol de maíz.
- Si tenemos en cuenta solamente nuestra provincia el balance va a sufrir variaciones, pudiendo ser menor o llegar a ser negativo, debido a la variabilidad de rendimiento y mayor o menor utilización de insumos.
- Los valores energéticos asignados a los subproductos tienen una fuerte influencia en el resultado final.
- En el cómputo del balance energético, el consumo energético industrial es más importante que el agrícola.
- La bibliografía consultada posee cierta homogeneidad en cuantos a los resultados obtenidos en la relación energética.
- Si se tomarían en cuenta la energía fósil utilizada para la fabricación de los insumos a lo largo del todo el ACV el balance energético sería mucho menor. Por lo que se sugiere una mayor investigación local en los indicadores utilizados.

6. AGRADECIMIENTOS

Especialmente a nuestras familias por el apoyo brindado y por ser nuestro principal sostén a lo largo de estos años.

A Daniel Iglesias por haber confiado en nosotros y por el tiempo dedicado para poder llevar a cabo este trabajo final de graduación.

A nuestros amigos por todos los momentos compartidos en esta vida universitaria que tan lindos recuerdos nos dejó.

A todos los docentes de nuestra carrera por el esfuerzo propuesto para nuestro aprendizaje.

Al Ing. Agrónomo Juan Manuel Pepa por el asesoramiento brindado.

7. **BIBLIOGRAFIA**

- Ballenilla Mariana, (2007). Biocombustibles: mito o realidad, www.ua.es. Leído 8/07/09.
- Benzecry M, (2008) Mercado de Biodiesel: Atractivo y perspectiva en el Planeamiento Estratégico tecnológico y Logístico para el Programa Nacional de Biodiesel, Brasil (2008)
- Cámara Argentina de Energías Renovables (2009), Mapas-Argentina, www.argenitnarenovables.org/mapas.php. Leído 15/08/09
- Centro Azucarero Argentino (2009), Ubicación de los ingenios azucareros en el norte de la República Argentina www.centroazucarero.com.ar Leído 02/09/09
- Centro de Debate y Mercado de Biocombustibles (2009), Argentina: exportaciones declaradas en junio de biodiesel alcanzaron un nivel record, www.biodieselspain.com/category/biodiesel. leído 02/09/09
- Christiansen K. (1997): Simplifying LCA: Just a cut? Final report SETAC-Europe, LCA screening and streamlining working group.
- Florez, J. León (2009), Los Biocombustibles, Conferencia ARPEL, Punta del Este, Uruguay 2009.
- Fullana P., Puig R. (1997): Análisis de Ciclo de Vida, Ed. Rubes, Barcelona 1997.
- Huerga I., Hilbert J. A. y Donato Lidia B. (2008), Balances energéticos de la producción de biodiesel a partir de soja en la República Argentina, N° Doc. IIR-BC-INF-03-09, Pág.4-5-14.

- Huergo, Héctor (2007), clarín rural, suplemento agropecuario, edición especial 05 de mayo de 2007, Pág. 4-11. Buenos Aires
- Iglesias Daniel H. (2004). Relevamiento exploratorio del análisis de ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. Ediciones INTA. ISBN 987-521-110-9. Buenos Aires.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Noticias Biocombustibles Oíl World: Caerían exportaciones de aceite de soja, www.iica.int/Esp/regiones/sur/argentina/Lists/Noticias/DispForm.aspx?ID=1025 Leído 15/08/09
- Lobato et al. (2007). Metodología para optimizar el análisis de materias primas para biocombustibles en los países del cono sur, www.procisur.org.uy. Leído 8/07/09.
- Medina Jorge (2008) Insumos para la Producción de Biocombustibles. Estudio Exploratorio, www.inta.gov.ar/info/doc/Biocombustibles.pdf leído 20/08/09
- NAE-Núcleo de Asuntos Estratégicos de la Presidencia de la República de Brasil (2007) www.presidencia.fiocruz.br leído 02/09/09
- Pimentel y Patzek (2006). Uso de la producción de etanol de maíz, switchgrass, y la Madera; Uso de la producción de biodiesel de soja y de girasol. <http://petroleum.berkeley.edu> Leído 9/07/09.
- Ramundo Maciel Julio Cesar et al. (2008) Bioetanol de Caña de Azúcar: energía para el desarrollo sostenible, Capítulo 3: Bioetanol, http://www.cgee.org.br/arquivos/bioetanol_esp.pdf?idProduto=4809. Leído 25/08/09
- Schvarzer J. y Tavošnanska A. (2007). Biocombustibles: expansión de una industria naciente y posibilidades para Argentina. Doc. de trabajo N°13. CESP. UBA. Fac. de Ciencias Económicas. Buenos Aires.

- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos(2009), Mapas principales cultivos, www.sagpya.mecon.gov.ar leído 15/08/09
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Perfil descriptivo de la Cadena de Maíz, www.sagpya.mecon.gov.ar. Leído 20/08/09.
- Shapouri et al. (2002). El balance de energía de etanol de maíz: una actualización, <http://www.usda.gov> Leído 10/07/09.
- Sheehan J., Camobreco V., Duffield J. y otros (1998). “An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles” Colorado: US Department Energy and US Department Agricultural.
- Sheman (2005) Balance Energético de la Producción de Biodiesel a partir de Soja en la República Argentina www.biodiesel.com.ar leído 10/08/09
- Viglizzo Ernesto (2006). AgroEcoIndex, www.inta.gov.ar/anguil. Leído 15/08/09

8. ANEXOS

ANEXO I

Exportación de Biodiesel

El 85,9% de las ventas externas declaradas en julio 2009 se destinaron a los Países Bajos (Holanda), mientras que el 5,9% se declaró para ser remitido a España; 5,3% a EE.UU.; y el 2,9% restante a Italia.

Fueron de 170.448 toneladas (el volumen más elevado desde que la industria comenzó a operar). Pero los precios siguen muy flojos: 759 u\$s/tonelada contra 1279 u\$s/t en julio del 2008.

En julio de 2009 se declararon exportaciones argentinas de biodiesel por 170.448 toneladas a un precio promedio ponderado de 759 u\$s/tonelada, un valor 5,1% inferior al registrado en junio de este año (800 u\$s/tonelada).

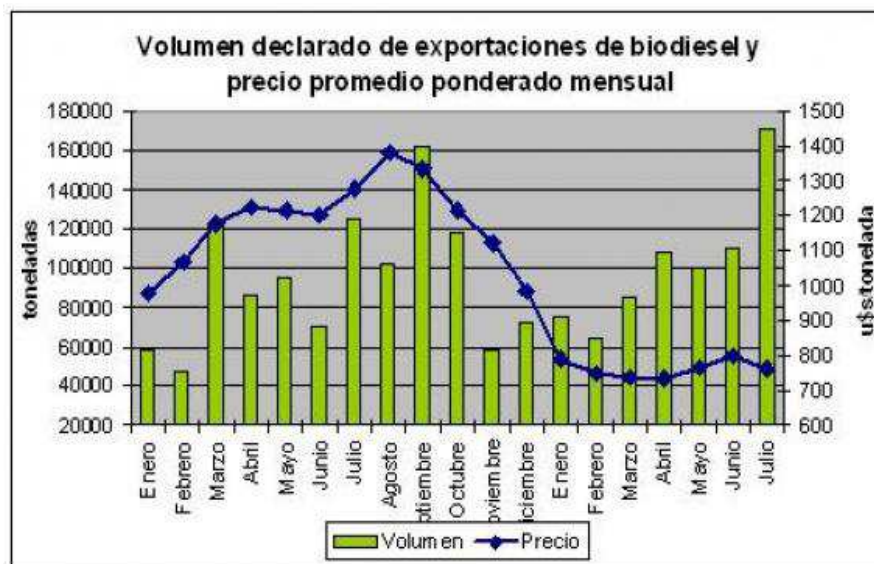


Figura N° 13: Exportación de biodiesel en Argentina 2008-2009

Fuente: biodiesel spain.

El volumen mensual registrado en julio de 2009 es el más elevado desde que la industria argentina de biodiesel comenzó a operar en el país (el anterior récord se había dado en septiembre de 2008, pero por entonces los precios del biocombustible superaban los 1300 u\$/tonelada).

Más allá del crecimiento registrado por las exportaciones argentinas de biodiesel en lo que va del presente año, los precios promedio del commodity no lograron superar aún los 800 u\$/tonelada y esto hace que buena parte de las plantas locales elaboradoras del biocombustible sigan operando a pérdida.

Tal situación podría cambiar a partir del año que viene, dado que la normativa vigente dispone que a partir de 2010 sea obligatorio comercializar gasoil con una mezcla de 5% de biodiesel (aunque todo dependerá del precio que el gobierno fije para el biodiesel que se comercializará en el mercado interno).

ANEXO II

Localización y etapas del proceso de elaboración del biodiesel.

En la Argentina se ha relevado que existen 15 empresas que utilizan extracción por Solvente; 7 empresas que combinan los procesos (prensado-solvente) y 6 empresas que realizan la extracción a partir de prensas.



Figura N° 7: Plantas de elaboración de biodiesel

Fuente: Cámara Argentina de Energía Renovables

El Mapa que se muestra a continuación es perteneciente al sur de La Provincia de Santa Fe, en donde se encuentran la gran mayoría de las plantas productoras de Biodiesel.



Figura N° 8: Plantas productoras en la Provincia de Santa Fe.

Fuente: Cámara Argentina de Energía Renovables.

Actualmente en La Provincia de La Pampa no existen plantas de elaboración de biodiesel en base a soja, si existe una planta experimental situada en la EPET N°1 de la localidad de Eduardo Castex que elabora biodiesel a partir de aceite de frituras con una capacidad de producción de 100 L/diarios, los cuales son destinados para uso interno del establecimiento. 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). (Ing. Jorge Medina, 2008)

Las etapas del mismo son:

- Mezclado previo: En esta etapa se produce la mezcla del alcohol con el catalizador, obteniéndose el metóxido correspondiente.
- Transesterificación: Es la reacción principal del proceso, en la misma, reaccionan el aceite con el metóxido. 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.

- 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 biodiesel.
- 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.
- 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.

ANEXO III

Etapas del proceso de obtención del bioetanol según tipo de molienda y localización de las plantas de molienda.

La molienda seca como la húmeda tiene etapas similares: preparación de la materia prima, fermentación, recupero del alcohol y de los coproductos. La principal diferencia se encuentra en la forma de realizar la molienda del grano. Ambas requieren un diseño similar de planta industrial aunque las de molienda seca son de mayor tamaño, usando ambas calor y electricidad.

Molienda seca:

La molienda seca es el proceso para extraer almidón contenido en el maíz para producir bioetanol requiere menos capital que la molienda húmeda tanto en la fase de construcción como la fase operativa de la planta.

Se han producido avances tecnológicos importantes en el proceso de molienda seca y ahora es mucho más eficaz y productivo que en la década de los 80.

Se han reducido en forma considerable los requerimientos de energía, se incorporaron sofisticados procesos de automatización, las enzimas disminuyeron su costo a su vez que vieron incrementado su poder de conversión, logrando con ello menores tiempos de procesamiento, el desarrollo de cedazos moleculares, todos factores que han contribuido a disminuir los costos y aumentar el volumen de etanol obtenido.

Los 8 pasos principales en la producción de etanol bajo este proceso son los siguientes:

- Molienda: El proceso de molienda seca comienza con la limpieza del grano de maíz (puede ser cebada, trigo o sorgo), que una vez limpio pasa a través de los molinos que lo muelen en un polvo fino harina de maíz.
- Licuefacción: La harina de maíz se sopla en grandes tanques donde se la mezcla

con agua y las enzimas (amilasa alfa) y pasan a través de las calderas donde se emulsiona el almidón. A la mezcla se le agregan componentes químicos para mantenerla con un pH de 7. En esta etapa se aplica calor para permitir la licuefacción, en una primera etapa a alta temperatura (120-150 °C) y luego a temperatura más baja (95°C). Estas altas temperaturas reducen la cantidad de bacterias presentes en el puré o mosto.

- **Sacarificación:** El puré de las calderas se refresca a una temperatura levemente debajo del punto de ebullición del agua y se le agrega una enzima secundaria (glucoamilasa) para convertir las moléculas del almidón licuado en azúcares fermentables (dextrosa) mediante el proceso de sacarificación. Las enzimas funcionan como catalizadores para acelerar los cambios químicos.
- **Fermentación:** El etanol se produce a partir de la fermentación. Al puré se le agrega levadura para fermentar los azúcares y con ello se obtiene el etanol y anhídrido carbónico (cada molécula de glucosa produce dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono). Usando un proceso continuo, el puré fluiría a través de varios fermentadores hasta que fermente completamente. El puré permanece cerca de 48 horas en esta situación antes de que comience el proceso de destilación. En la fermentación, el etanol conserva mucha de la energía que estaba originalmente en el azúcar, lo cual explica que el etanol sea un excelente combustible.
- **Destilación:** El puré fermentado, contendrá alcohol (cerca del 15%) y agua (al 85%), así como todos los sólidos no fermentables del maíz y de la levadura.

El puré entonces será bombeado a flujo continuo al sistema de la columna de destilación, donde la cerveza se hierve, separándose el alcohol etílico de los sólidos y del agua. El alcohol dejará la columna de destilación con una pureza del 90 al 96%, y

el puré de residuo, llamado stillage, será transferido desde la base de la columna para su procesamiento como subproducto.

- **Deshidratación:** El alcohol pasa a través de un sistema que le quita el agua restante. La mayoría de las plantas utilizan un tamiz molecular para capturar las partículas de agua que contiene el etanol al momento de salir del sistema de destilación. Al alcohol puro, sin el agua, se lo denomina alcohol anhidro.
- **Desnaturalizado:** El etanol que será usado como combustible se debe desnaturalizar con una cantidad pequeña (25%) de algún producto, como nafta, para que no sea apto para el consumo humano. (Ballenilla, 2007).

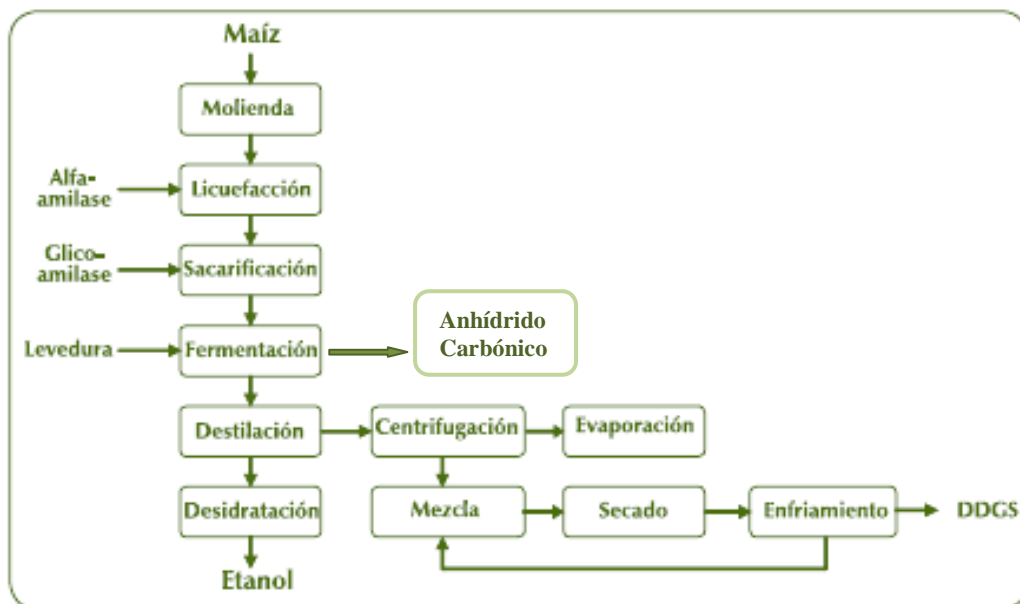


Figura N° 9: Esquema de proceso de elaboración de Etanol por M. Seca.

Fuente: Ramundo Maciel J, C. 2008

Molienda húmeda:

La molienda húmeda tiene una capacidad de procesamiento de un gran volumen de granos, pero para su desarrollo son necesarias más inversiones en capital. Su capacidad de

procesamiento está en torno a las varias centenas de millones de litros de bioetanol por año, en cambio la producción mediante la molienda seca ira en torno a los 230 millones de litros anuales.

El proceso de la molienda húmeda es mucho más complejo, ya que separa el grano en sus componentes, lo que permite una separación más efectiva de los mismos y se obtienen subproductos de mayor valor.

En la molienda húmeda solamente se somete a fermentación el almidón mientras que en la molienda seca se fermenta el puré entero.

La molienda húmeda consiste en empapar el maíz en agua caliente, posteriormente se retira el agua y los núcleos ablandados pasan a los molinos y a los separadores donde se separa el germen, extrayéndose de éste el aceite de maíz. El resto de los componentes (almidón, gluten y fibras) se muelen y se pasan a través de separadores donde se retira la fibra, se separa el almidón y el gluten. Posteriormente se lava y se seca el almidón que puede ser usado como almidón (maicena) o ser convertido en dulcificantes (jarabes de maíz) o en etanol (Ballenilla, 2007)

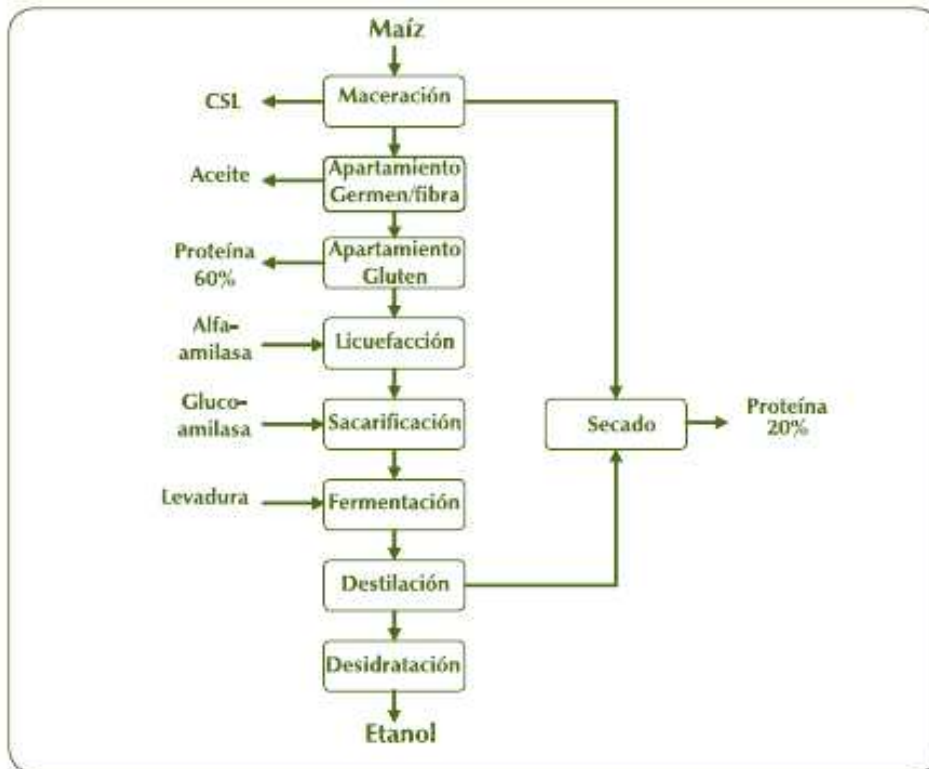


Figura N° 10: Esquema de proceso de elaboración de etanol por M. húmeda.

Fuente: Ramundo Maciel J, C. 2008

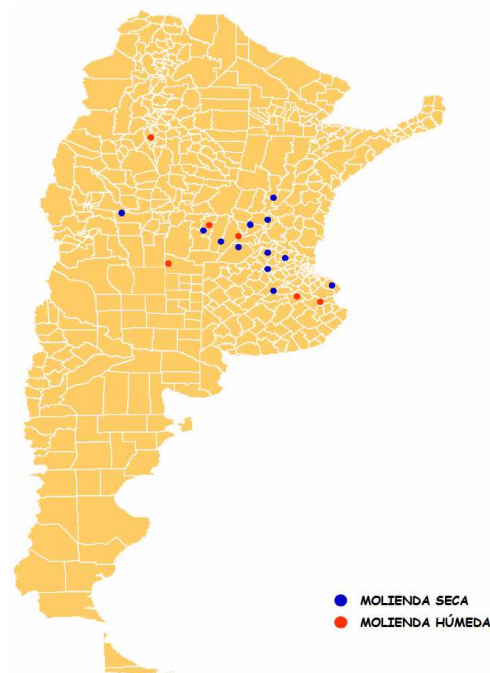
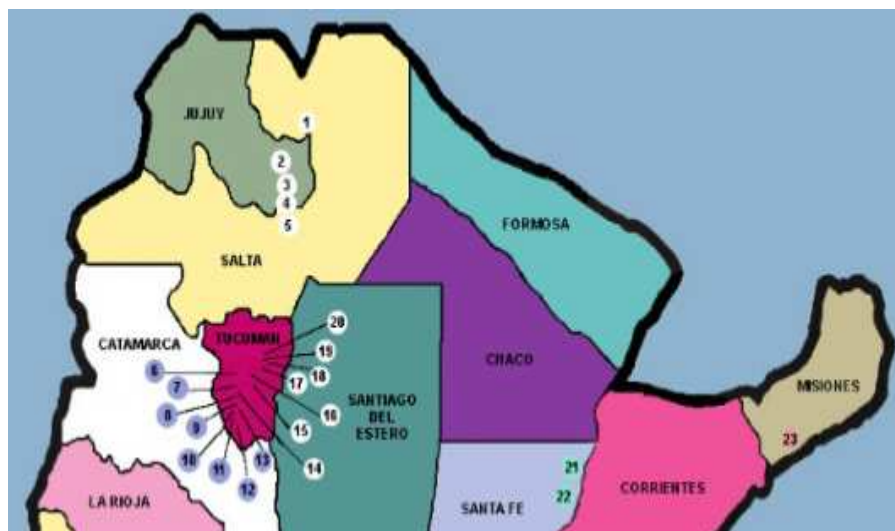


Figura N° 11: Localización de plantas de molienda de maíz.

Fuente: SAGPyA.

En la Argentina actualmente existen varias plantas de molienda de maíz, pero por el momento no se produce etanol en base a este cultivo, si se produce en base a caña de azúcar como se aprecia en el mapa situado a continuación.



Referencias: 1-S.M del Tabacal, 2-Ledesma,3-La Esperanza,4-Rio Grande,5-San Isidro,6-La Fronterita,7-Nuñorco,8-La Providencia,9-La Corona,10-Aguilares,11-Santa Bárbara,12-Marapa,13-La Trinidad,14-Santa Rosa,15-Leales,16-Bella Vista,17-San Juan,18-Cruz Alta,19-Concepción,20-La Florida,21-Las Toscas,22-Arno,23-San Javier.

Figura N° 12: Localización de plantas de bioetanol.

Fuente: Centro azucarero Argentino