



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

**SITUACIÓN ACTUAL DE LA
OBTENCIÓN DE BIOETANOL A
TRAVÉS DEL MAÍZ COMO FUENTE DE
BIOCOMBUSTIBLE**

**TITULACIÓN POR MÉRITO ACADÉMICO
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

INGENIERO BIOTECNÓLOGO

PRESENTA

JOSÉ LUIS VARELA MURRIETA

CD. OBREGÓN, SONORA

JUNIO DE 2007

SITUACIÓN ACTUAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DEL MAÍZ COMO FUENTE DE BIOCOMBUSTIBLE

En la actualidad el uso de etanol como combustible reviste especial importancia no sólo con el fin de disminuir la dependencia del petróleo y enfrentar las crisis energéticas, sino también como una manera de combatir la reducción del gran impacto ambiental generado por la combustión de derivados del petróleo (Montoya, 2006).

El creciente interés por el desarrollo de combustibles renovables e inocuos con el medio ambiente encuentra su origen en dos preocupaciones: el calentamiento global y el potencial desabastecimiento de petróleo. El paradigma del fin del siglo XX ha sido que la atmósfera no resiste más emisiones de dióxido de carbono y otros gases responsables de provocar el efecto invernadero y generar el calentamiento global del planeta, amenazando la vida de otras especies.

Consultando algunas estadísticas sobre la producción de etanol se encontró que durante el 2003, más de 25 millones de toneladas de maíz (11% de la producción anual del cereal) se destinaron a la producción de 10.637 millones de litros de etanol, distribuidos en 72 plantas de procesamiento. La producción de etanol proporciona más de 200.000 trabajos en EE.UU., estimulando el crecimiento en muchas áreas rurales (Vergagni, 2004).

En tanto, se estima que la producción de etanol en el año 2012 será de 19.000 millones de litros. Para alcanzar ese volumen será necesaria la contribución de las innovaciones biotecnológicas que permitan lograr una utilización mas eficiente del maíz a partir del uso de híbridos, maíces de alta fermentación con el objetivo de elevar la cantidad de litros de etanol por tonelada de grano, o ampliar la gama de materiales de los cuales se extrae el etanol,

incorporando los tallos de maíz, desechos vegetales, etc., al proceso de conversión.

Se ha mencionado algunas de las ventajas que genera la utilización del etanol como combustible: la disminución de la contaminación del aire; la generación de empleos y el agregado de valor a las producciones agropecuarias, pero aún no se ha comentado qué es el etanol, cuáles son sus propiedades.

El etanol es líquido claro descolorido; volátil, con un olor característico suave, inflamable, soluble en agua, que hierve a 78 °C (172 °F) y se congela a -112 °C (-170 °F). El etanol es denominado también alcohol etílico o alcohol del cereal, es un compuesto orgánico cuya molécula se compone de carbono, hidrógeno y un hidroxilo, siendo su fórmula $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, y su peso molecular de 46,0684, por lo cual un litro de etanol pesa 0.815 kg. Es un alcohol anticorrosivo, relativamente no tóxico, que cuando se quema produce una llama azul pálida sin residuos y entrega una energía considerable (Vergagni, 2004).

Básicamente existen tres maneras en que el etanol puede utilizarse; como combustible para el transporte, aprovechando sus características como componente oxigenante y antidetonante, con el consiguiente aumento en el número de octanos y mejoramiento en la calidad de las emisiones de la combustión.

Biotecnología: cuando los autos se mueven a alcohol

En todos los países del mundo los autos se mueven gracias a combustibles derivados del petróleo. Sin embargo, es posible usar la Biotecnología para producir combustibles alternativos, como el etanol (Wang, 2005). A pesar de que se trata, por lo menos hasta el momento, de un producto más caro que la nafta o gasolina, presenta varias ventajas y muy importantes:

- Se produce a partir de cultivos agrícolas, que son fuentes renovables de energía.

- Puede obtenerse a partir de cultivos propios de una región, permitiendo la producción local del biocombustible
- Permite disponer de combustible independientemente de las políticas de importación y fluctuaciones en el precio del petróleo
- Produce mucho menos emisiones nocivas para los seres vivos, el agua y el aire
- La producción podría realizarse a partir de desechos agrícolas, forestales, industriales o municipales.

Actualmente el alcohol se produce principalmente a partir de caña de azúcar o maíz (en algunos casos el maíz es mezclado con un poco de trigo o cebada), cuyos hidratos de carbono son fermentados a etanol por las levaduras del género *Saccharomyces*. La caña de azúcar es sin duda la fuente más atractiva para la producción de etanol, ya que los azúcares que contiene son simples y utilizables directamente su mayor inconveniente es que resulta muy cara como la materia prima (Reboli, 2005). Como se muestra en la Figura 1 los granos vienen siendo la fuente de materia prima mas aceptada para la producción de Etanol y se muestra aquí que tiene un 30%. (G Shaffeld,2006).

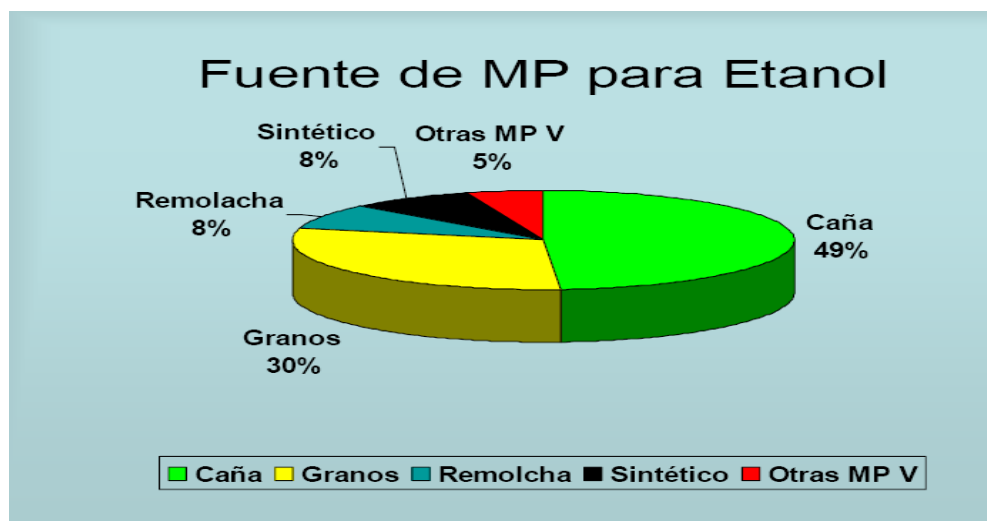


Figura 1. Fuentes de materias primas mas utilizadas para la producción de Etanol. (G Shaffeld, 2006).

Los cultivos como el maíz son ricos en almidón, un hidrato de carbono complejo que necesita ser primero transformado en azúcares simples. Este proceso se denomina sacarificación, e introduce un paso más en la producción, con el consecuente aumento en los costos. Las materias primas ricas en celulosa, como los desechos agrícolas y forestales son los más abundantes y baratos. Sin embargo, la conversión de la celulosa en azúcares fermentables es un proceso complejo y costoso que hace que la obtención de etanol a partir de desechos no sea rentable, al menos por ahora.

Para el proceso de obtención de etanol a partir de maíz es necesario hidrolizar las cadenas de amilosa y amilopectina presentes en el almidón en azúcares apropiados para la fermentación. La degradación del almidón se lleva a cabo por procesos enzimáticos después de una etapa de gelatinización donde se solubiliza el almidón con el fin de hacerlo más accesible a las amilasas. El jarabe de glucosa resultante es el punto de partida para la fermentación alcohólica donde se obtiene una solución acuosa de etanol que debe ser enviada a la etapa de recuperación de producto, tal como en el caso de la caña de azúcar (Cardona et. al, 2005).

Los principales productores de alcohol como combustible son Brasil, Estados Unidos y Canadá. Brasil lo produce a partir de la caña de azúcar y lo emplea como “hidro-alcohol” (95% etanol) o como aditivo de la gasolina (24% de etanol). Estados Unidos y Canadá lo producen a partir de maíz (con un poco de trigo y cebada) y lo utilizan en diferentes formulaciones que van desde el 5% al 85% de etanol (Conway, 2005).

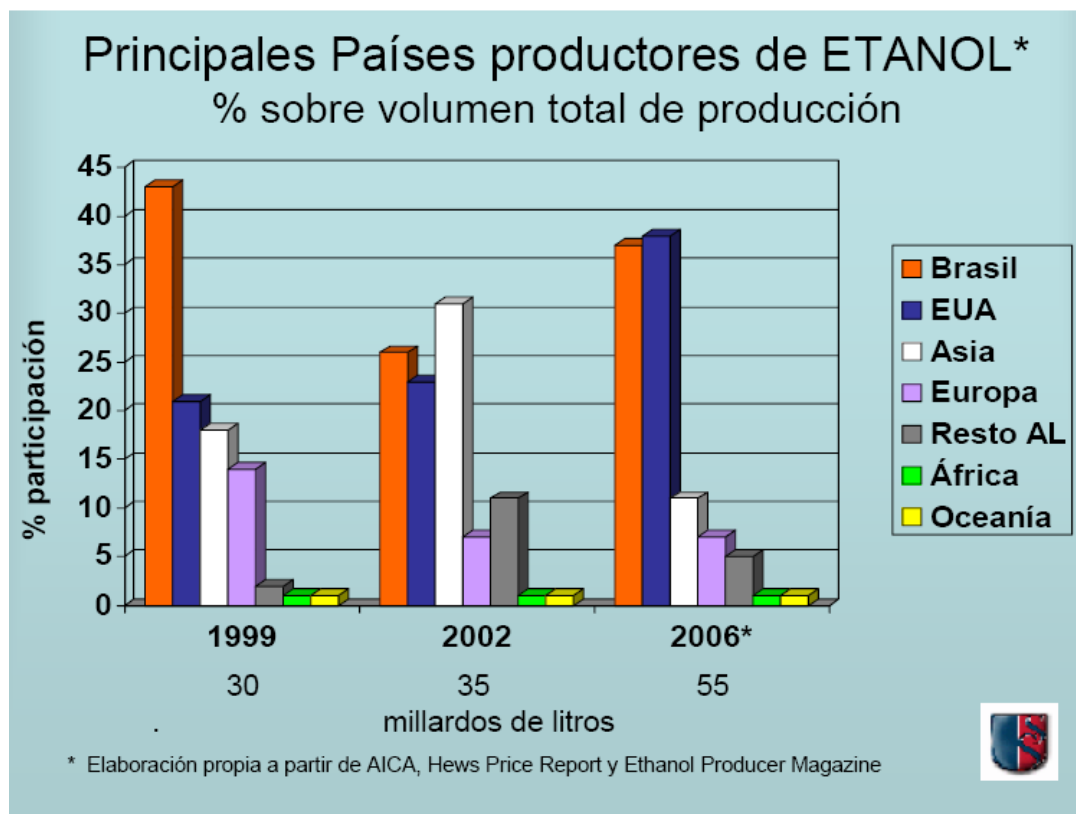


Figura 2: Principales países productores de Etanol (G Shaffeld,2006).

Los principales países productores de etanol son Brasil y USA (Figura 2) por diferentes vías materiales lignocelulósicos muestran que ha habido una competencia. (G Shaffeld, 2007).

PROCESO A PARTIR DE MAÍZ

El bioetanol es un alcohol y su mayor parte se fabrica siguiendo un procedimiento similar al de la cerveza, en el que los almidones son convertidos en azúcares, los azúcares se convierten por fermentación en etanol, que luego es destilado en su forma final. En la figura 3 se muestra el esquema seguido para la descripción del proceso a partir de maíz.

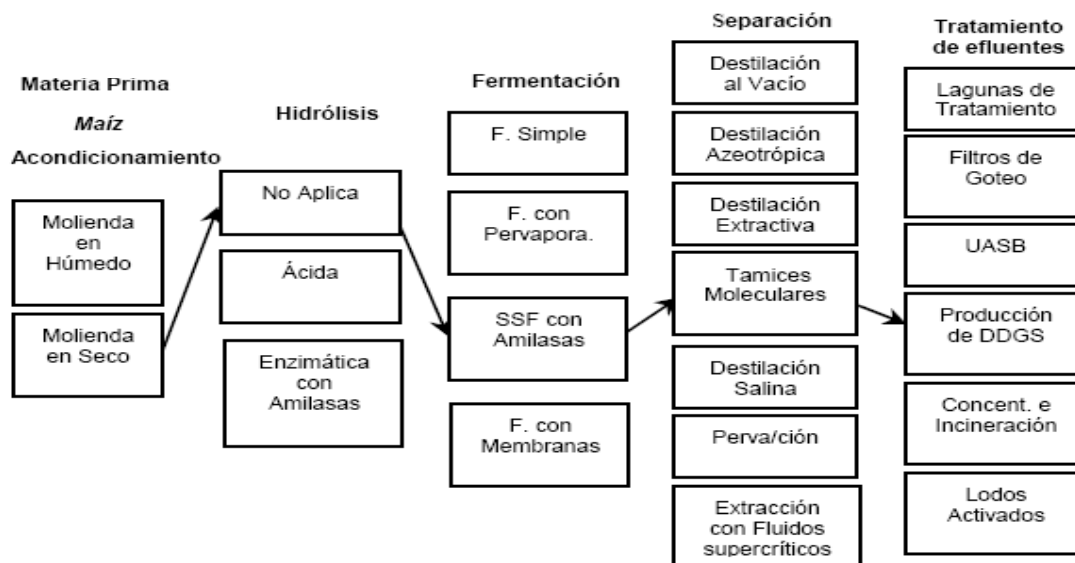


Figura 3. Esquema para la producción de etanol carburante a partir de (b) Maíz. (Cardona, Sánchez, Montoya y Quintero, 2005).

Acondicionamiento

El acondicionamiento del grano consiste inicialmente de una molienda hasta un tamaño de 3 a 5 mm. Posteriormente, se retiran algunas impurezas (polvos y arenas, principalmente). Al grano molido se le debe agregar agua caliente con el fin de obtener una mezcla con no más de un 40% en sólidos, apta para la licuefacción.

La mezcla obtenida es enviada a una etapa de prelicuefacción en la cual se logra transformar una parte de las cadenas de amilosa y amilopectina del almidón en dextrinas por acción de la enzima α -amilasa.

Posteriormente se pasa la mezcla a un equipo de cocción en el que se logra solubilizar el almidón a 100°C. La masa obtenida es enviada a la segunda etapa de licuefacción en la que se convierte por completo el almidón a dextrinas. La licuefacción al igual que la prelicuefacción opera a 88°C (Cardona et. al, 2005).

La masa licuada es mezclada con una porción de vinazas ligeras provenientes del área de tratamiento de efluentes con el fin de controlar el pH entre 4-5 y con ácido cuando se requiera. La masa es también mezclada con agua proveniente de la sección de destilación, esto para disminuir el porcentaje de sólidos que entran a la fermentación.

Sacarificación y fermentación simultáneas

Dos procesos se llevan a cabo en una misma unidad: la sacarificación de las dextrinas para obtener glucosa y la fermentación de la glucosa en etanol y dióxido de carbono, principalmente. La sacarificación es posible gracias a la acción de la enzima glucoamilasa que es alimentada continuamente al reactor. La fermentación se lleva a cabo mediante la levadura *Saccharomyces cerevisiae* que es alimentada junto a una fuente de nitrógeno (amoníaco). Además de la producción de etanol se tuvo en cuenta la producción en forma estequiométrica de biomasa y otras sustancias como acetaldehído, glicerol y alcoholes de fusel. Los gases formados en la fermentación son retirados y enviados a una torre de adsorción en la cual se debe recuperar el 98% en masa del etanol arrastrado.

Separación y deshidratación

La destilación y la adsorción con tamices moleculares se usan para recuperar el etanol del caldo de fermentación obteniéndose etanol a 99,5% en peso de pureza. La destilación se lleva a cabo en dos columnas, la primera remueve el CO₂ disuelto (que es enviado a la torre de absorción) y la mayoría del agua obteniéndose un destilado con 50% en peso de etanol y unos fondos con una composición inferior al 0,1% en peso; en esta columna se alimenta junto al caldo de fermentación el etanol recuperado en la absorción proveniente de los gases de fermentación. La segunda columna concentra el etanol hasta una composición cercana a la azeotrópica (Cardona et. al, 2005).

El agua restante es removida de la mezcla mediante adsorción en fase vapor en dos lechos de tamices moleculares. El producto de la regeneración de los tamices es recirculado a la segunda columna de destilación.

Tratamiento de efluentes

El producto de los fondos de la primera columna es parcialmente evaporado en el primer tren de evaporación que consta de dos efectos. Este efluente parcialmente concentrado es enviado a una centrífuga en la cual se obtienen granos húmedos con 35% en peso de sólidos totales. Una porción del efluente líquido de la centrífuga (vinazas ligeras) es recirculada al área de acondicionamiento, la parte restante se lleva al segundo tren de evaporación en el cual se obtiene un jarabe con un contenido en sólidos totales de 55% en peso. El jarabe y los granos húmedos son mezclados y enviados a un secador rotatorio obteniéndose un subproducto con alto contenido proteínico conocido como granos secos de destilación con solubles (DDGS, por sus siglas en inglés) el cual es utilizado y comercializado como alimento animal (Cardona et. al, 2005).

TIPOS DE MOLIENDA

Molienda Seca

La molienda seca es un proceso de producción para extraer el almidón contenido en el maíz ampliamente aceptado en la industria del etanol puesto que comparativamente con el proceso de molienda húmeda tiene menores requerimientos de capital tanto al momento de construir como de operar la planta (Vergagni, 2004).

Los avances de la tecnología aplicada al proceso de molienda seca han hecho que en la actualidad la conversión del maíz en etanol sea mucho más eficaz y productiva que en la primera generación de plantas de molienda seca que operaban en la década del '80. Se han reducido en forma considerable los requerimientos de energía. Se incorporaron procesos sofisticados de

automatización. Las enzimas disminuyeron su costo, a su vez que vieron incrementado su poder de conversión. Con ello menores tiempos de procesamiento, el desarrollo de cedazos moleculares, todos los factores que han contribuido a disminuir los costos y aumentar el volumen de etanol obtenido.

El costo de construir una planta de etanol de molienda seca se redujo en un 25-30%, mientras el costo de producción casi un 50% en los últimos 20 años. Muchas plantas se han integrado verticalmente, anexando explotaciones de feedlots, que es un tipo de la operación concentrada de la alimentación animal (CAFO) (también conocido como "fábrica cultivar") que se utiliza para acabar el ganado; y de tambos, que son biorreactores donde se les da un tratamiento a dichos residuos, o en algunos casos la explotación comercial de peces aprovechando el sistema de reciclaje de las aguas usadas en la planta.

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 pasa a través de las cocinas donde se licueface 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, para las α -amilasa la temperatura optima es 95°C y en glucoamilasa con una temperatura de 60°C. Estas altas temperaturas reducen los niveles de bacterias presentes en el puré o mosto (Vergagni, 2004).
- Sacarificación: El puré de las cocinas luego es refrescado –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 es producto de la fermentación. Al puré se le agrega levadura para fermentar los azúcares –cada molécula de glucosa produce dos moléculas de etanol y dos de dióxido de carbono- y con ello obtener el etanol y el anhídrido carbónico. Usando un proceso continuo, el puré fluirá a través de varios fermentadores hasta que fermente completamente. En este proceso el puré permanece cerca de 48 horas antes 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, ahora llamado cerveza, 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 un flujo continuo, en el 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 de 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. El 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 (2-5%) de algún producto, como Nafta (disolvente en petróleo); que es una mezcla de hidrocarburos, líquida, incolora o de coloración variable, con propiedades entre la gasolina y el keroseno. Lo cual ocasiona que no sea apto para el consumo humano (Vergagni, 2004).

- Subproductos: Hay dos subproductos principales del proceso: el anhídrido carbónico y los granos destilados. El anhídrido carbónico se obtiene en grandes

cantidades durante la fermentación. Muchas plantas lo recogen, lo limpian de cualquier alcohol residual, lo comprimen y lo venden para ser usado como gasificante de las bebidas o para congelar carne. Los granos destilados, húmedos y secos –DDGS-, se obtienen del stillage, el cual se centrifuga para separar los sólidos suspendidos y disueltos. Un evaporador se utiliza para concentrar los sólidos suspendidos y disueltos y después se envían a un sistema de secado para reducir el contenido de agua a aproximadamente un 10/12%. Los DDGS contienen el núcleo del maíz menos el almidón. Algunas plantas también elaboran un jarabe que contiene algunos de los sólidos que pueden ser comercializados juntos o en forma independiente de los granos destilados.

Molienda Húmeda

La molienda húmeda es un proceso capital intensivo, en el cual las plantas procesan un gran volumen de granos. En general la capacidad instalada es de varias centenas de millones de litros de etanol/año, mientras que las plantas que trabajan bajo el proceso de molienda seca a lo sumo disponen de una capacidad de producción anual de 230 millones de litros (60 millones de galones).

La operación de molienda húmeda es más compleja porque el grano se debe separar en sus componentes, con la ventaja que al lograr una separación más efectiva de los mismos se obtienen subproductos de mayor valor agregado. En la molienda húmeda solamente el almidón se fermenta mientras en la molienda seca se fermenta el puré entero.

La molienda húmeda consiste en empapar el maíz en agua caliente en un proceso llamado empapamiento, luego 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. Las piezas restantes –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. Luego se lava y se seca el almidón que puede ser usado como almidón o ser convertido en dulcificantes –jarabes de maíz, maicenas o etanol- (Vergagni, 2004).

Sintéticamente los pasos del proceso son los siguientes: i. Almacenamiento y limpieza, ii. Maceración del grano de maíz, iii. Molienda gruesa (obtención del germen), iv. Molienda fina (obtención del gluten feed), v. Separación del gluten y almidón (obtención del gluten meal y del almidón), vi. Hidrólisis del almidón.

Etanol del Maíz: un buen negocio

El etanol a partir del maíz es viable ya que se pueden encontrar varias ventajas en la producción de dicho combustible, en la (Tabla 1) podemos observar los balances de biomasa de diferentes cultivos, ahí encontramos que el maíz está en un estado favorable para la producción de biocombustible ya que salidas de biomasa son están en el rango de anta producción de energía, a continuación mencionaré algunos de los beneficios más importantes:

- El etanol puede ser producido a partir de fuentes renovables.
- Es un combustible líquido y puede ser manejado tan fácilmente como las naftas y el diesel.
- Presenta un alto índice de octanos: 105
- Produce menos dióxido de carbono al quemarse que la nafta, pero el impacto total depende del proceso de destilación y la eficiencia de los cultivos.
- Genera menores emisiones de monóxido de carbono cuando se usa como aditivo de las naftas.
- Resulta menos inflamable que los combustibles derivados del petróleo.
- Baja toxicidad
- No pensar en el reemplazo sino en la complementación con el combustible fósil.
- Eliminación del aditivo MTBE, altamente contaminante.

Por estas varias razones el etanol viene siendo una fuente de energía que necesitamos en este caso para el uso como biocombustible para automóviles (Vergagni, 2004).

TABLA 1. BALANCE ENERGÉTICO PARA BIOMASA DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS

Cultivo	Cosecha (Ton/ha)	Entrada de Energía (GJ)	Salida de Energía (Biomasa) (GJ)	(Salida/Entrada)
Maíz	8.655	33.978	130.459	3.84
Switchgrass	10.000	11.535	167.480	14.52
Soya	2.668	15.685	40.216	2.56
Girasol	1.500	25.620	19.470	0.76
Colza	4.080(a)	12.159	54.346	4.47
	8.080(b)	12.417	114.346	9.21
Trigo	8.960(a)	12.562	74.189	5.91
	15.460(b)	13.328	171.689	12.88

(a) solo grano, (b) grano y paja. (ISIS,2007)

Etanol de Maíz: un mal negocio

EL etanol constituye el 99% de todos los biocombustibles en los Estados Unidos; 3.400 millones de galones de etanol se produjeron en el 2004 y usados como gasolina, representando el 2% en cuanto a volumen y al 1,3 con respecto a su contenido energético.

Se prevé que el uso de etanol crecerá debido al crédito impositivo de \$0,51 por galón de etanol que ha dictado el gobierno federal de EE UU, y por el mandato de alcanzar 7500 millones de galones de “combustibles renovables” que serán usados como gasolina hacia el 2012, según se incluye en la reciente Ley de Política Energética (EPACT, 2005).

Pero Pimentel y Patzek han mostrado no solo que el retorno de energía es sustancialmente negativo, sino que en términos económicos es aún peor. Cerca del 50% del costo de producción de etanol es para maíz mismo, como insumo (\$0,28/litro). El etanol cuesta bastante más que lo que se paga por él en el mercado, y sin los subsidios estatales y federales, de cerca de 3.000 millones al año, la producción de etanol en los Estados Unidos terminaría (ISIS, 2007).

El Senador McCain informa que el total de subsidios para etanol es de cerca de \$0,79/litro. Si se añade los costos de producción saldría un valor total de cerca de \$1,24/litro. El etanol tiene tan solo un 66% de energía contenida con relación al de la gasolina, comparando el costo actual. Entonces el etanol cuesta \$1,88/litro, o \$7,12 por galón equivalente de gasolina, comparado con el costo actual de producir gasolina que es de \$0,33/litro.

Los subsidios federales y estatales para la producción de etanol de \$0,79/litro, principalmente llegan a los bolsillos de las grandes corporaciones. Un máximo de \$0,02 por bushel, o 0,2 centavos/litro de etanol, va a los agricultores.

Con el subsidio a la producción del maíz y del etanol, el total de costos, que ascienden a 8.400 millones al año, se traslada a los consumidores, ya al que producir maíz como materia prima para producir etanol, aumenta los precios del maíz para otros fines. Por ejemplo, un estimado dice que la producción de etanol, con sus subsidios y demás, estaría aumentando el costo de producción de carne de bovino (alimentado con maíz) en \$ 1.000 millones.

Claramente, el etanol de maíz no es ni sustentable ni rentable, y se está poniendo bastante esfuerzo en encontrar otros insumos agrícolas como este (ISIS, 2007).

Peores rendimientos energéticos hacen de la contabilidad más realista

Patzec presentó una detallada objeción al artículo de la revista *Science* que mostraba un balance energético positivo en la producción de etanol de maíz, exponiendo los principales errores usados en la contabilidad energética. Estos incluían:

- Fallas en contabilizar la energía de los granos de maíz como un ingreso de energía.
- Asumir una obtención elevada de etanol de maíz al contrario de los datos verídicos.

- Asignar costos de energía indebidamente en la producción de etanol, en particular, destilación de subproductos como los residuos de la fermentación que no tienen nada que ver con la producción de etanol.

Adicionalmente, la industria de etanol usualmente infla la obtención de etanol contando como etanol el 5% de gasolina añadida al etanol de maíz como desnaturalizador; toman el monto de almidón fermentado como si fuese el total de almidón extraíble, aunque no todo lo último es fermentable; y toman el peso del maíz húmedo (un promedio de 18% de humedad) como si fuera maíz seco (ISIS, 2007).

Cuando la contabilidad energética hecha por autores diferentes es re-analizada con el mismo set de datos realistas, los saldos energéticos resultan ser remarcablemente uniformes

Situación Actual en México: Factible o no Factible

En el caso del maíz, que es el cultivo más importante de México, pues de él depende el 55.7% de la población total agropecuaria, 3.1 millones de productores de maíz representan el 11.3% del PIB. En el 2004, el valor de su producción a precios de mercado alcanzó los 35.4 mil millones de pesos, sembrada en una superficie mayor a las 8.4 millones de hectáreas. El volumen de la producción es mayor a los 22 millones de toneladas anualmente. Sin embargo, pese a ser el cuarto productor de maíz en el mundo, México es un país importador de maíz y no produce excedentes que se podrían canalizar a la elaboración de biocarburantes (Shields y Sarmiento, 2007).

El desarrollo de cultivos energéticos no tiene sentido si a la par no se desarrolla la correspondiente industria agroenergética que utilice la biomasa producida como materia prima. Los sistemas agroenergéticos constituyen verdaderas agroindustrias en las que la producción y la transformación deben estar

íntimamente relacionadas; desde el punto de vista técnico, económico y geográfico; como en los aspectos contractuales que obliguen a los productores a suministrar la materia prima necesaria para el funcionamiento de la industria, así como esta a aceptar la producción al precio estipulado. Una característica específica de las agroindustrias energéticas es la necesidad de que el centro de transformación se encuentre próximo a los lugares de producción, ya que es inconcebible gastar en transporte más energía de la que se puede obtener del cultivo (Guillén, 2007).

La biomasa que se produce en el país sin aprovechamiento para consumo humano como el bagazo del agave (producción de tequila), la cascarilla de café, de arroz, de trigo, lirio acuático, estiércol, y muchos otros, también puede emplearse como energético. Ejemplos de aprovechamiento actual son la leña y el bagazo de la caña de azúcar, sin embargo, las demás no se aprovechan. Algunos estados como Durango, Sonora, Sinaloa, Querétaro, Veracruz y Chiapas pueden contribuir con este recurso a disminuir el consumo de productos petrolíferos. La ventaja estratégica y cuanto a la balanza de pagos del país, resulta al sustituir a los combustibles producidos a partir del petróleo; suponiendo la disminución de dependencia del manejo del costo del barril de petróleo en el concierto internacional, además de un ahorro de divisas.

La aplicación de cultivos energéticos en México destaca la posibilidad de poder cambiar el paradigma de producir ciertos cultivos, anteriormente con fines alimentarios, con bajo valor de mercado y reducidos márgenes de utilidad (y en muchos casos nulos, llegando hasta las pérdidas), a producirlos con fines energéticos, trayendo el desplazamiento de combustibles fósiles por los biocombustibles producidos, reduciendo emisiones contaminantes y efectos adversos al entorno, y principalmente beneficiando a la población que otrora los producía, con nuevos empleos, desarrollo socioeconómico y posibilidades de reducir de forma notoria su condición de miseria (Guillén, 2007).

Se percibe una serie de ventajas con respecto a la utilización de ciertos cultivos como fuente de energía para México:

- Permiten la continuidad de la actividad del sector agrícola, evitando abandono de superficies productivas y manteniendo la actividad en los sectores industriales relacionados directamente con producción agrícola, fertilizantes, maquinaria agrícola o producción de semillas.
- Pueden crear puestos de trabajo en el sector agrícola y en el de transformación.
- La utilización de cultivos energéticos tiene un menor requerimiento de insumos de producción, por lo que el impacto ambiental es menor.
- Toman en cuenta a los cultivos perennes que protegen al suelo de la erosión; eliminado el laboreo excesivo y pérdida de suelo fértil.
- Permiten una reducción de CO₂, ya que éste ha sido previamente fijado por las plantas mediante la fotosíntesis antes de su combustión
- Mitigan de la emisión de óxidos de azufre (SOX) al sustituir la combustión de hidrocarburos; evitando lluvias ácidas, entre otros efectos contaminantes.
- Reducen el consumo de petrolíferos, los cuales se pueden destinar a la generación de otros productos con mayor valor de mercado y posicionamiento estratégico en el mismo (Guillén, 2007).

Una buena noticia para la agricultura, el medio ambiente y la industria energética de México es que, al final del período legislativo, el Senado de la República aprobó, la Ley para la Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, abriendo la posibilidad de producir combustibles a partir de la caña de azúcar, el maíz y las plantas oleaginosas (Shields y Sarmiento, 2007).

Por desgracia, el Senado realizó modificaciones mínimas a la versión de la ley aprobada por los diputados, por lo que se devolvió esa ley a la Cámara Baja, donde en ausencia de un período extraordinario para desahogar el amplio rezago

legislativo tendrá que esperar hasta el otoño para ser ratificada y enviada al Presidente de la República para su firma.

Los biocombustibles serán una alternativa al petróleo, energético fósil cuyas reservas empiezan a agotarse en México y en el mundo y cuyo precio aumenta a niveles sin precedente, presionando a las economías de todo el orbe. Buscar la diversificación energética ya es un objetivo de muchos gobiernos y los biocombustibles ofrecen una atractiva opción de carburante líquido, que también es amigable al medio ambiente y beneficia a la agricultura.

En México, los bioenergéticos tienen potencial para contribuir al desarrollo social en regiones donde la energía convencional es económicamente inviable, sobre todo en zonas rurales apartadas y en las que producen caña y maíz. También podrán ayudar a lograr la autosuficiencia energética, ahora que Petróleos Mexicanos (Pemex) importa el 30% de las gasolinas con las que abastece el mercado nacional. La preocupación mundial sobre el agotamiento de los mantos de petróleo de fácil y barata extracción tampoco es ajena a México, donde se prevé una fuerte declinación de Cantarell, el único yacimiento súper gigante del país, en los próximos años. México también requiere de un marco legal para dar cumplimiento a sus compromisos en el protocolo de Kioto, respecto de sus emisiones de gases de efecto invernadero. Nuestro país es el primer productor de este tipo de emisiones en América Latina con aproximadamente 360 millones de toneladas de dióxido de carbono al año (Shields y Sarmiento, 2007).

Por lo tanto podemos concluir que la producción de etanol a partir de maíz en diferentes países ha tenido impacto económico y ambiental, que origina la apertura a una nueva era de biocombustibles, ya que ellos son fuentes de energía que pudiera sustituir al petróleo, por que este equilibrio tendría que disminuir las emisiones de carbono que contaminan el ambiente.

Además de disminuir la contaminación, le daría otro uso al maíz que es la extracción de etanol, es por eso que el precio del Maíz se ha incrementado ya que se le han encontrado diferentes usos.

También podemos mencionar que este biocombustible, podría ser una propuesta tentativa para México, cabe de destacar que la extracción de etanol es más cara que la de petróleo. Pero de igual forma la agricultura de México es mayormente productora de maíz y esto sería un beneficio para la aplicación de esta estrategia.

La Ley de Bioenergéticos promueve que México se integre a la tendencia mundial de usar fuentes de energía alternas eficientes, modernas y limpias, que implican mejores condiciones de vida para el campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albanese, A. M. (2007). Etanol a partir del maíz. ¿Por qué invertir en Argentina?. Instituto de Planeamiento Estratégico, 2005. Extraído Internet el 18 de Marzo de 2007 de <http://www.agendaestrategica.com.ar/EtanolMonteBueymaiz.ppt#256,1>
- Cardona, C. A., Sánchez, O. J., Montoya, M. I. & Quintero, J. A. (2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. Scientia et Técnica. Año XI. No 28. Octubre UTP. ISSN 0122-170.
- Cardona, C. A., Sánchez, O. J., Montoya, M. I. & Quintero, J. A. (2005). Evaluación del impacto ambiental del proceso de obtención de alcohol carburante utilizando el algoritmo de reducción de residuos. Revista Facultad de Ingeniería de Antioquia, marzo, número 036. pp.85-95.
- Conway, R. (2005). Biofuel production: implications for grain industry and consumers. Lincoln, NE. July, 20, 2005.
- G Shaffeld (2006). Etanol a partir de Materiales Lignocelulósicos (la otra alternativa para la obtención de etanol). Rescatado el 21 de febrero de 2006 de, <http://www.bioplanet.cl/images/talcapdf/BPTalca03Guillermo%20Schaffeld.pdf>
- Guillén, O. (2007). El uso de cultivos energéticos en México. Rescatado el 18 de Marzo del 2007 en <http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/050711103036.html>
- Mae-Wan Ho (2006). Biocombustibles para los adictos al petróleo: ¿la cura peor que la enfermedad?. Rescatado el 18 de marzo de 2007, de <http://energias.ecoportal.net/content/view/full/60537>
- Reboli, M. (2005). The biobased economy. WI Bio-based Industry Consortium. June 27, 2005.
- Shields, D. & Sarmiento, R. (2006). La era de los bioenergéticos. Rescatado el 18 de Marzo del 2007 en http://www.energiaadebate.com.mx/Articulos/junio_2006/la_era.htm
- Vergagni, G. (2004). Industria del etanol a partir del maíz ¿es factible su desarrollo en Argentina?. MAIZAR (V&A Desarrollos Empresarios).

Wang, M. (2005). Etanol: complete. Center for Transportation Research/Argonne
National Laboratory, Second printing, December 2005.