

El etanol (Segunda parte)

- **Producción del bioetanol**
- **Bioetanol de caña de azúcar**
- **Bioetanol de maíz**

En la segunda entrega sobre el etanol comentamos a cerca de la producción de biocombustibles a base de distintas materias primas vegetales y cuya generación se puede efectuar por medio de diferentes rutas tecnológicas, con ventajas y limitaciones distintas. Hoy día, el etanol o bioetanol se destaca, claramente, por ser la alternativa con mayor madurez y por su efectiva inserción en las matrices energéticas de diversos países.

Producción del bioetanol

Este reporte describe las etapas agrícola e industrial en la generación de bioetanol, además de los indicadores de productividad actual y potencial. Además se detallarán los sistemas productivos del bioetanol de la caña de azúcar y de maíz, que corresponden a una gran parte de la producción mundial.

- Materias primas y tecnologías de producción del bioetanol

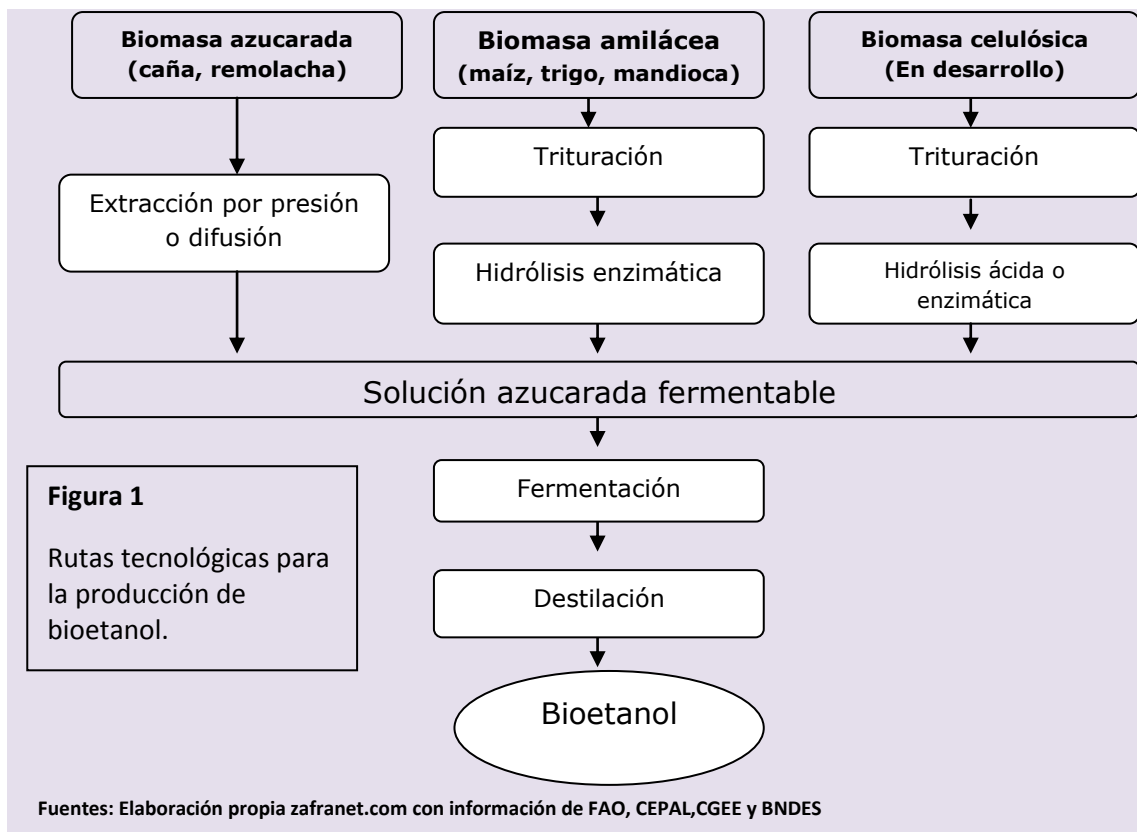
Entre los combustibles líquidos destacan el etanol y el biodiesel, en las configuraciones observadas en la Tabla 1. Mediante las rutas biológicas, el bioetanol se puede producir a base de cualquier biomasa que contenga cantidades significativas de almidones o azúcares. En la actualidad hay un ligero predominio de la producción relacionada con materiales amiláceos (un 53% del total), como el maíz, el trigo y otros cereales y granos. En esos casos, la tecnología de conversión comienza generalmente con la selección, la limpieza y la molienda del grano. La molienda puede ser húmeda, cuando el grano está embebido y fraccionado antes de la conversión del almidón en azúcar (vía húmeda), o seca, cuando eso se realiza durante el proceso de conversión (vía seca). En ambos casos, el almidón se convierte en azúcares mediante un proceso enzimático a altas temperaturas. En ese caso, los azúcares liberados son fermentados con levaduras y el vino resultante sufre destilación para la purificación del bioetanol. Además del bioetanol, esos procesos implican diversos co-productos que varían de acuerdo con la biomasa utilizada. En la Tabla 1 se incluyeron únicamente las rutas utilizadas

comercialmente; las otras alternativas en desarrollo, como las efectuadas mediante hidrólisis de materiales celulósicos, los balances energéticos, las emisiones a la atmósfera y los co-productos del etanol se comentarán en nuestro último envío sobre el tema.

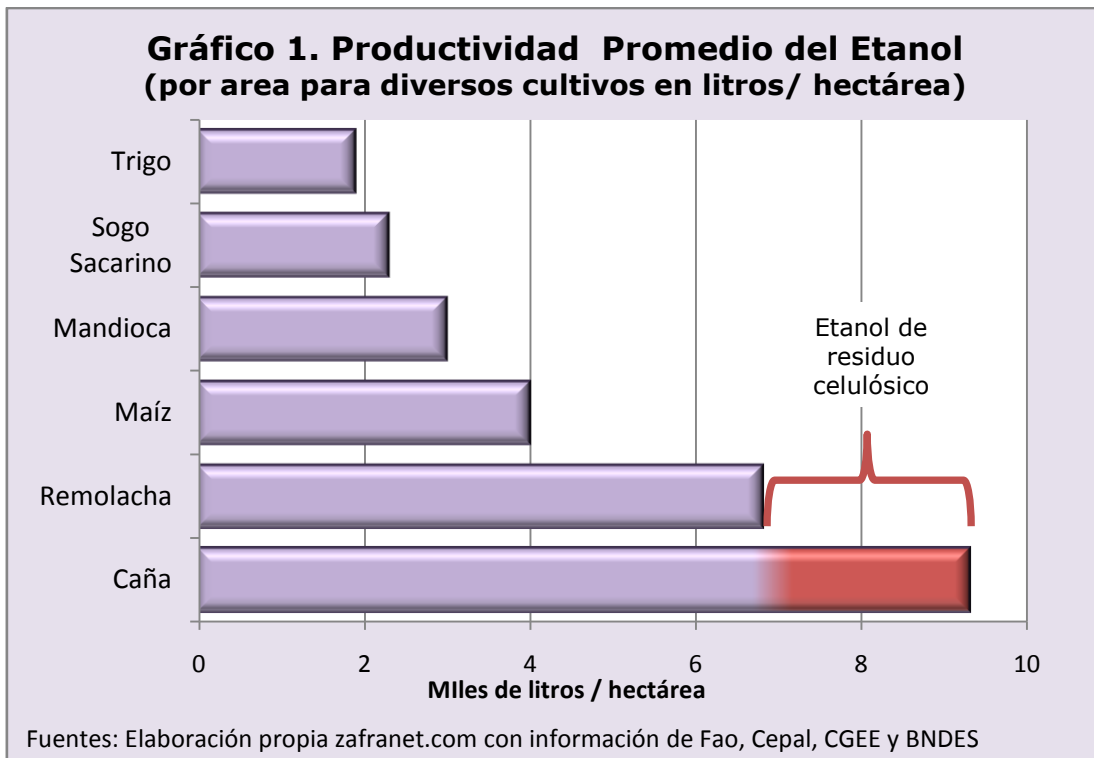
Considerando la producción a base de azúcares, como en el caso de la caña y de la remolacha, el proceso es más sencillo e implica una etapa menos, ya que los azúcares están disponibles en la biomasa. En general, el proceso se basa en la extracción de los azúcares (por medio de la molienda o de la difusión), que pueden seguir directamente hacia la fermentación. Tras la fermentación se destila el vino así como en el caso de la producción basada en almidón.

Tabla 1 Panorama General de los biocombustibles					
Biocombustible	Materia Prima	Disminución en la emisión de gases de efecto invernadero	Costo de la producción	Producción de biocombustible por hectárea	Tierras utilizadas
Bioetanol	Granos (trigo, maíz)	Moderado a bajo	Moderado	Moderado	Tierras fértiles
Bioetanol	Caña de azúcar	Alto	Bajo	Alto	Tierras fértiles
Bioetanol	Aceites de semillas (canola, soya, etc.)	Moderado	Moderado	Bajo	Tierras fértiles
Biodiesel	Aceite de palma	Moderado	Moderado a bajo	Moderado	Tierras costeras y húmedas
Fuentes: Elaboración propia zafranet.com con información de FAO, CEPAL, CGEE y BNDES					

La Figura 1 sintetiza las rutas tecnológicas para la producción de bioetanol, considerando las diferentes materias primas de interés. La producción de bioetanol a partir de celulosa está aún en un nivel de laboratorio y plantas piloto, con obstáculos tecnológicos y económicos que se deben superar.



En el Gráfico 1 se presenta una comparación entre las diferentes rutas para la producción de bioetanol que evidencia cómo pueden diferenciarse los índices de productividad por unidad de área cultivada. Los resultados del gráfico corresponden a labranzas en condiciones de buena productividad, que en algunos de los casos pueden implicar un elevado uso de insumos. Las tecnologías industriales para la conversión de azúcares y almidón en bioetanol, se pueden considerar maduras y disponibles, con excepción de las relacionadas a la hidrólisis de materiales lignocelulósicos, ahora en desarrollo, adoptadas también para la obtención de bioetanol de la parte celulósica de la caña. Para la caña, se considera una producción de 80 toneladas de caña por hectárea, una productividad de 85 litros de bioetanol por tonelada de caña procesada (6800 litros por hectárea de caña procesada), y la utilización del 30% del bagazo disponible, además de la mitad de la paja convertida en bioetanol a razón de 400 litros por tonelada de biomasa celulósica seca.

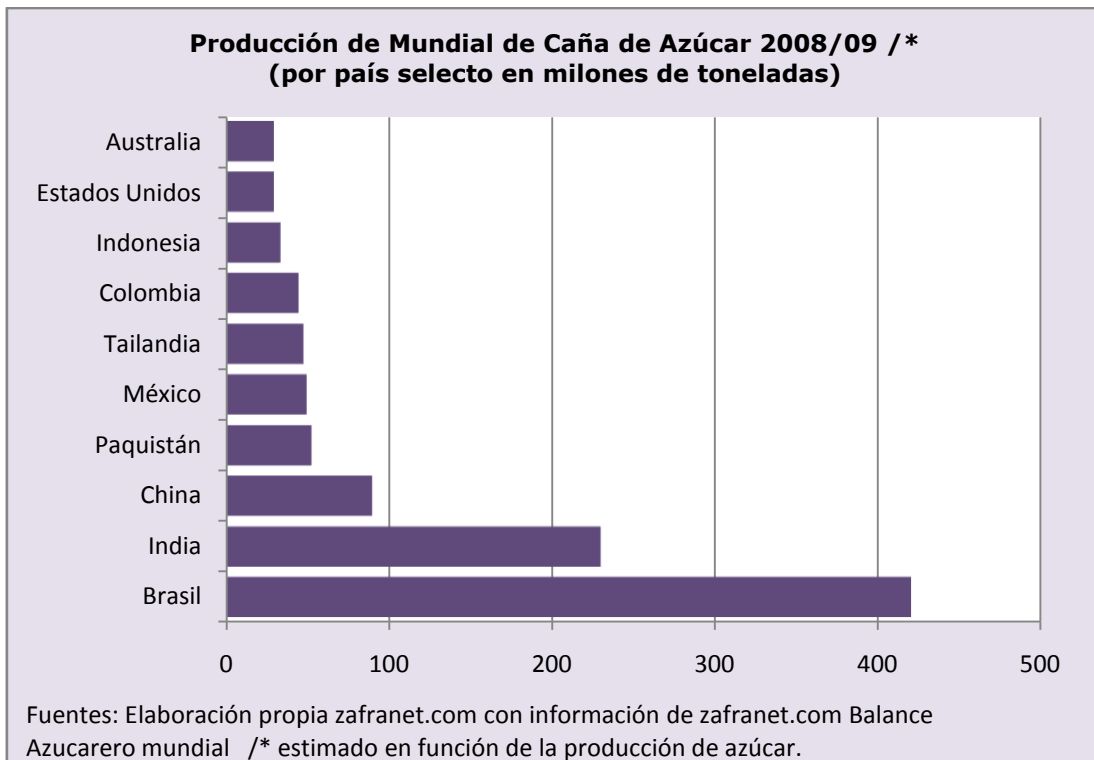


El gráfico muestra comparativamente los niveles de producción alcanzados por cada uno de los cultivos alternativos para etanol. Destaca que la caña de azúcar ofrece los mejores niveles de productividad (6,800 litros por hectárea de caña procesada) y de llegar a adelantos técnicos en el corto plazo, se podrán alcanzar cerca de 9.5 miles de litros.

Bioetanol de caña de azúcar

La caña es uno de los cultivos comerciales más importantes del mundo, ocupando más de 20 millones de hectáreas. Entre los años 2006 y 2007 se produjeron aproximadamente 1,300 millones de toneladas. En un estimado de zafranet.com para el ciclo 2008/09 se calcula la producción de 1,598 millones de toneladas de vara dulce.

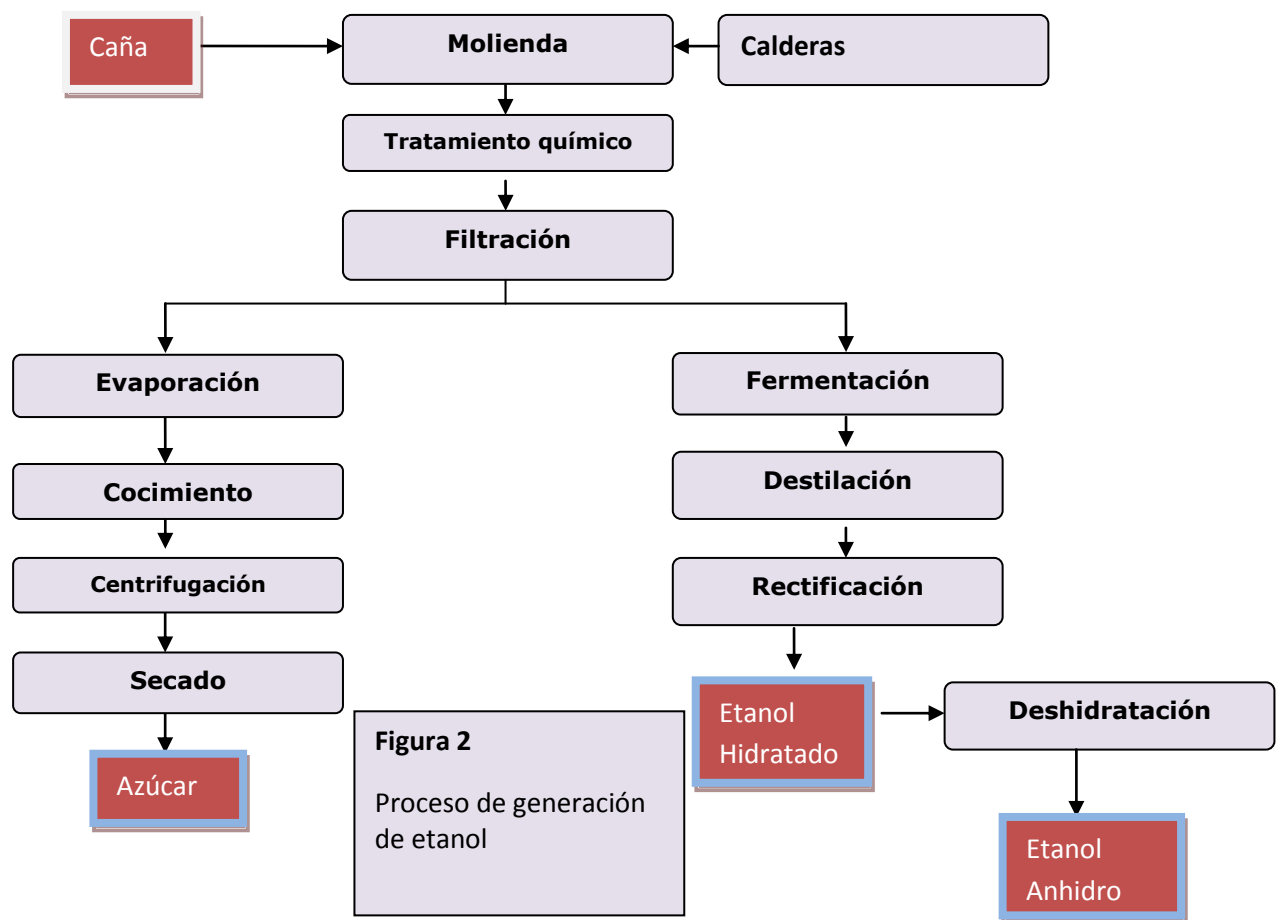
Es importante destacar que el año azucarero, adoptado en todo el mundo, comienza en septiembre y termina en agosto del año siguiente. El Gráfico 10 muestra los diez principales productores de caña en la cosecha del año 2005 [FAOSTAT (2008a)].



El clima ideal para el cultivo de caña es el que presenta dos estaciones distintas: una caliente y húmeda, para proporcionar la germinación, el macollaje y el desarrollo vegetativo, seguida de otra fría y seca, para lograr la madurez y la consecuente acumulación de sacarosa en los tallos. La caña no presenta una buena productividad en climas como el de las regiones ecuatoriales húmedas, por eso la región amazónica no posee cultivos comerciales extensivos de esa planta.

La producción de bioetanol de caña de azúcar se puede basar en la fermentación, directamente del jugo de la caña, o de las mezclas de jugo y melaza, que es como se realiza generalmente en Brasil. En el caso del bioetanol extraído directamente del jugo, las primeras etapas del proceso de fabricación, desde la llegada de la caña hasta el tratamiento inicial del jugo, se asemejan al proceso de fabricación del azúcar. En un proceso más completo el jugo pasa por el calaje, calentamiento y decantación, así como en el proceso del azúcar. Una vez tratado, el jugo se evapora para adecuar su concentración de azúcares y, eventualmente, se lo mezcla con la melaza, dando origen al mosto, una solución azucarada y lista para fermentar.

(FIGURA2)



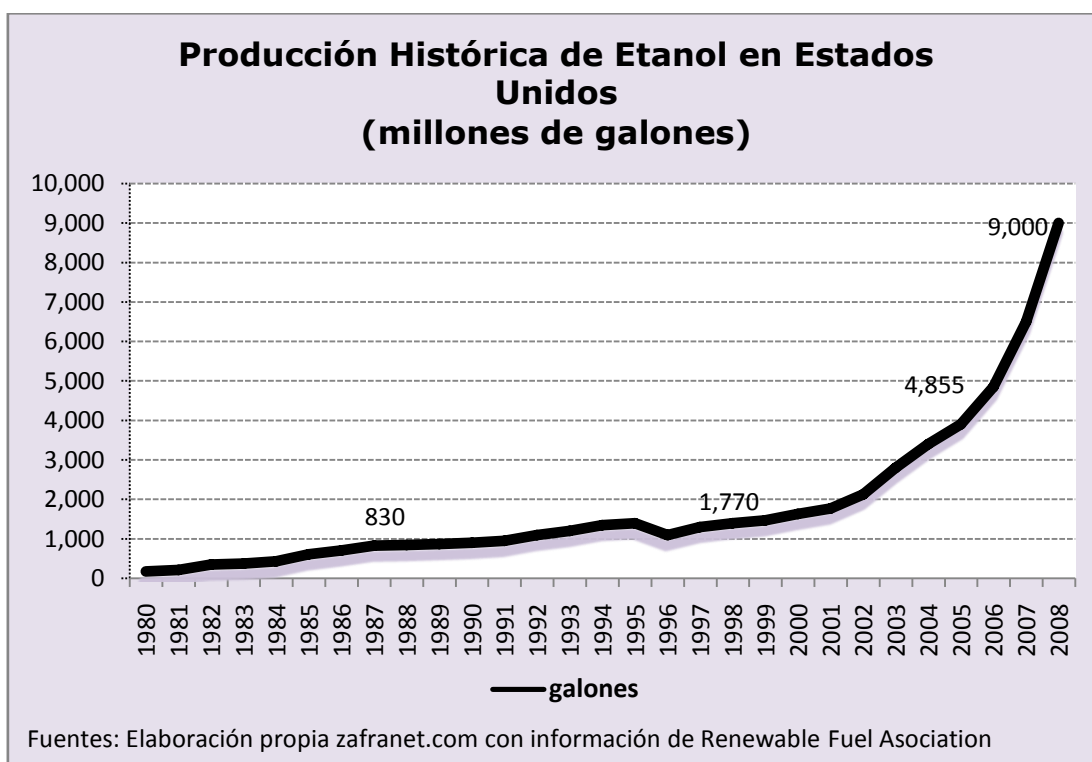
La posibilidad de utilizar los azúcares de caña, total o parcialmente, para la producción de bioetanol se convierte en una característica muy importante para esta agroindustria que debido a las condiciones de precio, a la demanda existente y a las perspectivas de mercado, puede establecer, respetando ciertos límites, un programa de producción de mínimo costo y máximo beneficio económico. Para aprovechar bien esa ventaja, varias plantas brasileñas poseen líneas de fabricación de azúcar y bioetanol, cada uno con capacidad para procesar el 75% del jugo producido, logrando un margen de un 50% de la capacidad total de proceso ante la capacidad de extracción de las moliendas

Como la producción del bioetanol implica una gran eliminación de agua, la demanda de energía es alta, principalmente de energía térmica. Con relación a la demanda de energía eléctrica, hay una pequeña variación entre los procesos, pero todos estos se acercan al valor presentado de 12 kWh por tonelada de caña procesada. En el caso de la agroindustria de bioetanol basada en la caña de azúcar, la totalidad de energía consumida en el proceso se puede proveer por medio de un sistema

combinado de producción de calor y potencia (sistema de cogeneración), instalado en la planta, y utilizando sólo el bagazo como fuente de energía. Efectivamente, en todo el mundo, muchas plantas de azúcar de caña producen gran parte de la energía que necesitan. En Brasil, las plantas se autoabastecen y, muchas veces, exportan a la red pública excedentes de energía cada vez más importantes, gracias al aumento del uso de equipos cada vez más eficientes.

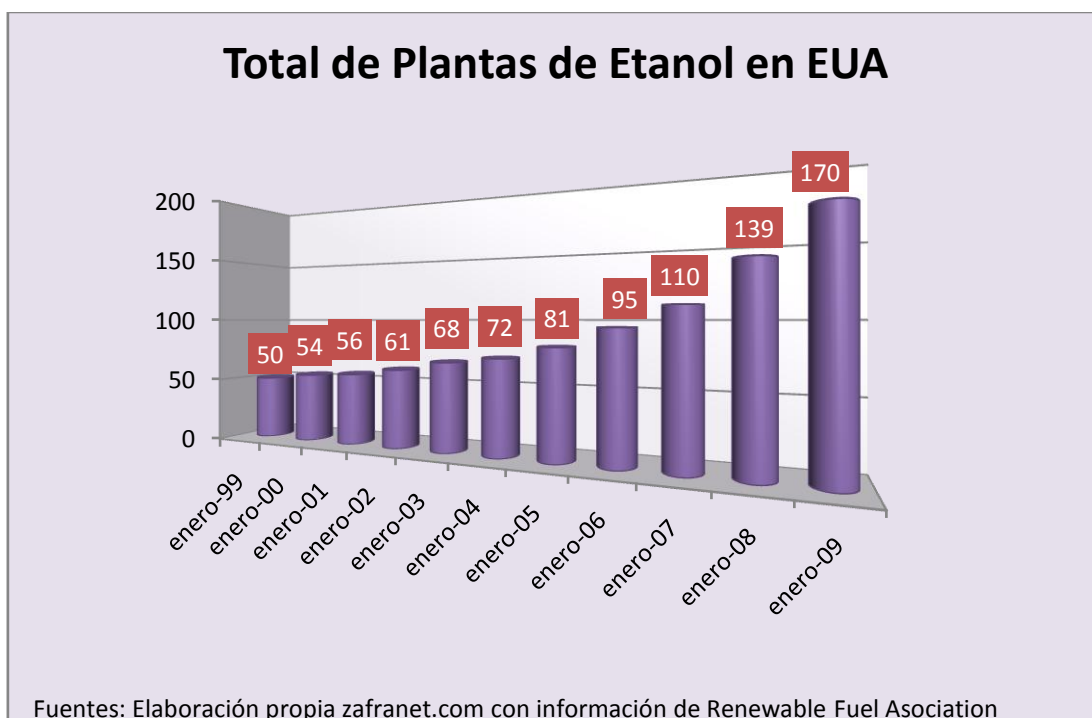
Bioetanol de maíz

Estados Unidos es el país líder en la producción de maíz a nivel mundial y produce casi la mitad del volumen total. El maíz es la principal materia prima en la producción de bioethanol en ese país: más del 98% se produce a partir de maíz. En el año 2006, la producción estadounidense fue superior a 267 millones de toneladas de granos, en un área cosechada de algo más de 28 millones de hectáreas, según el USDA. Para 2008 la producción de etanol ya ascendía a 9 mil millones de galones.



El despegue de la producción de etanol anual en Estados Unidos sucede en los últimos 10 años. En 1998 la producción ascendía a 1400 millones de galones y en tan sólo 6 años duplicó esa cifra, y para 2008 la generación de etanol ya cubría 9000 millones de galones.

Del total producido, más del 50% se destinó a la alimentación animal y la industria de bioetanol consumió menos del 20% de la producción. Dentro de los Estados Unidos, la producción se concentra en una región denominada "Cinturón del Maíz", donde se destacan los Estados de Iowa e Illinois.



La evolución de la producción de etanol en EUA resulta directamente dependiente del total de plantas productoras de etanol. A fecha presente en la Unión Americana ya existen 170 plantas, cuya base de producción es el maíz para la producción del biocombustible.

La productividad promedio estadounidense se encuentra alrededor de las 9 toneladas de granos por hectárea.

Al comparar el maíz con la caña, los expertos han concluido que el primero demanda una cantidad bastante mayor de fertilizantes con resultados ponderados para las áreas, con y sin irrigación. Con relación al agua, la demanda total es de cerca de 5,6 mil m³ por hectárea, aunque el área cultivada que necesita irrigación es menor al 10%.

El bioetanol de maíz se puede producir por medio de dos procesos denominados: molienda seca y húmeda. La forma húmeda era la opción más común hasta los años 1990, pero en la actualidad la opción seca se ha consolidado como el proceso

más utilizado. A pesar de no proporcionar una gran variedad de co-productos, como en el caso húmedo, las innumerables mejoras realizadas en el proceso seco lo han convertido en una opción con costos de inversión y operativos más bajos, hecho que disminuye bastante el costo final del bioetanol.

Tabla 2	
Rendimientos de los co-productos en la molienda húmeda	
Aceite de maíz	34-38 kg/t maíz
Proteína 20%	306 kg/t maíz
Proteína 60%	68 kg/t maíz
CO ₂	308 kg/t maíz
Bioetanol	440 litros/t maíz

Fuentes: Elaboración propia zafranet.com con información de FAO, CEPAL, CGEE y BNDES

En el proceso húmedo se apartan las distintas fracciones del grano del maíz, lo que posibilita la recuperación de diversos co-productos como: proteínas, nutrientes, gas carbónico (CO₂, utilizado en fábricas de bebidas gaseosas), almidón y aceite de maíz. Aunque el aceite de maíz es el producto más valioso, el almidón (y consecuentemente el bioetanol) es el producido en mayor volumen, con rendimientos aproximados de 440 litros de bioetanol por tonelada seca de maíz.

En el caso de la molienda seca, el único co-producto del bioetanol es un suplemento proteico para alimentación animal conocido como DDGS (*distillers dried grains with solubles*). En ese proceso se agregan agua y enzimas (alfa-amilasa) al grano de maíz molido, para promover la hidrólisis del almidón en cadenas menores de azúcar. En la etapa siguiente, esas cadenas son sacarificadas por la acción de la glucoamilasa y la solución resultante es fermentada. En algunas unidades, esas operaciones de licuefacción/sacarificación sufren el reciclaje de una parte de la vinaza fina (proceso de *backsetting*) con la intención de reducir el pH y proveer nutrientes para la fermentación.