

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Potencial del cultivo del sorgo en la producción de biocombustibles

POR:

**MIRIAM GIL HERNÁNDEZ.**

MONOGRAFIA

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio del 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE BÓTANICA

Potencial del cultivo del sorgo en la producción de biocombustibles

Por:

**MIRIAM GIL HERNÁNDEZ**

Monografía

Presentada como requisito parcial para obtener título de:

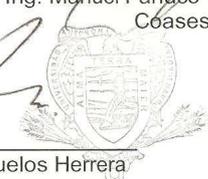
**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Aprobada

Dr. Armando Rodríguez García  
Asesor Principal

M.c. Laura María González-Méndez  
Coasesor

Ing. Manuel Panuco Valerio  
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía  
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Junio del 2012.

## **A G R A D E C I M I E N T O S**

A **mi Alma Terra Mater** por haberme recibido en sus instalaciones y brindarme cada uno de sus servicios que presta, y por darme la oportunidad de formarme como profesionalista en sus instalaciones.

Al **Dr. Armando Rodríguez García** por haberme apoyado y por dedicarme parte de su valioso tiempo en la elaboración y revisión en este trabajo de investigación, y por brindarme su amistad, confianza, escucharme, y tenerme paciencia.

A la **Mc Laura María González Méndez** por el apoyo incondicional para la realización de este trabajo, por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias ya aprender de ella.

Al **Ing. Manuel Panuco Valerio** por su colaboración y asesoría para la realización de este trabajo.

Al **Ing. Joel cruz torres** por su confianza, amistad, consejos, y apoyos que me brindo, por haberme dado el apoyo de entrar y mantenerme en la universidad, gracias ing.

A **Mc Sofía compran Sánchez** Que con su enseñanza, conocimientos y consejos me ayudaron a ser una mejor persona.

A **mis amigos** Yajaira Gpe Carballo, Odalis A. Morales, Irma Gpe. Venegas, Marisol Jiménez, Vanessa Jiménez, Gabriela López, Cecilia Balderas, Paola Martínez, Petra luz Medina, Cyntia Loyola, Yasmin Figueroa, Ana Cristina Osorio, Yaneth Grajales, Lupita Joaquín, Silverio Soto, Alarit González, Eloy Cuevas, Melec Mendoza, Mauricio Aguilar, Ulises Camacho, Martin Arriaga, Juan Carlos Vargas. Por estar siempre a mi lado, por brindarme su amistad, amor incondicional, por sus consejos, sus alegrías sus tristeza, y que de ustedes e aprendido mil cosas más; doy gracias a DIOS por que alguien invento a los amigos como ustedes.

A **mi mejor amigo** Edgar Ramírez (piloto) por apoyarme, darme consejos, tenerme paciencia y por la confianza que siempre me ah brindado y por demostrarme que en todo momento cuento con su amistad

## DEDICATORIAS

A **DIOS** Quien me dio la fe, la esperanza y la tranquilidad espiritual que necesite a lo largo de toda mi carrera para poder cumplir uno de mis sueños. Y por la vida y bendiciones que me ha brindado.

A **mis padres** por su amor, su comprensión, su cariño, sus consejos y su apoyo tanto moral como espiritual y económico que siempre me han brindado con esfuerzo y sacrificio, y que sin ellos no hubiese logrado terminar la meta que me propuse.

Eva Miriam Hernández Pérez.  
Gildardo Gil Linares.

A **mi abuelita** Que siempre me brindo su amor, su ternura, sus consejos y su cariño.

Florinda Pérez Palacios. (+)

A **mis hermanos** con quienes siempre he vivido momentos de gran felicidad y grandes tristezas, los cuales siempre me dieron consejos que me sirvieron de estímulo en los momentos más difíciles de mi carrera.

Erita Gil Hernández.

Lenin Samuel Gil Hernández.

A **mi sobrina** que es la alegría de toda la familia.

Miriam Julieta Gil Hernández.

## INDICE GENERAL

	Páginas
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>INDICE GENERAL</b> .....	vi
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
Objetivo general.....	4
<b>II REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
Situación energética internacional.....	5
Situación ambiental a nivel mundial... ..	8
Biocombustible.....	9
Historia.....	10
Definición y Generalidades.....	12
Definición de Energía Renovable.....	13
Biodiesel.....	14
Alcohol Etílico - Etanol.....	17
Producción y consumo mundial del sorgo .....	18
Importancia del Sorgo en México.....	19
Sorgo.....	20
Descripción Botánica del Sorgo.....	22
Sistema Radicular.....	23
Tallos.....	23
Hojas.....	23
Flores.....	23
Grano.....	24
Taxonomía del Sorgo.....	24

Ciclo Vegetativo.....	25
Etapas Fenológicas del Cultivo.....	25
Fase Vegetativa.....	25
Fase Reproductiva.....	26
Fase de Maduración.....	26
El Cultivo del Sorgo.....	27
Requerimientos Ecológicos y Edáficos.....	27
Temperatura.....	27
Humedad.....	27
Altitud.....	28
Latitud.....	28
Fotoperiodo.....	28
Suelo.....	28
Siembra.....	28
Época de Siembra.....	29
Cosecha.....	30
Época de Cosecha.....	30
El Sorgo Alternativa Importante en la Obtención de Biocombustibles.....	31
Sorgo Dulce.....	33
Estadística Mundial del Sorgo Dulce.....	33
Características del Cultivo de Sorgo Dulce.....	34
Variedades del Sorgo Dulce.....	34
Hábitos del Crecimiento.....	34
Requerimientos Ambientales.....	35
Adaptación.....	36
Tolerancia al Estrés Abiótico.....	36
Requerimiento Potencial.....	37
Beneficios y Usos.....	37
Sorgo Para la Producción de Alcohol.....	39
Ventajas del Sorgo Dulce.....	40

Balance de Energía del Sorgo Dulce.....	41
Procesos Productivos.....	42
Procesos de Obtención de Biodiesel.....	42
Proceso Discontinuo.....	44
Proceso Continuo.....	44
Proceso de Obtención de Etanol.....	46
Fermentación.....	48
Purificación.....	49
Síntesis Química.....	50
La Biomasa Lignocelulósica como Materia Prima para la Producción de Etanol.....	50
Proceso de Obtención de Etanol a partir de Biomasa Lignocelulósica Utilizando Levaduras Termotolerantes.....	52
Productos de Obtención.....	53
Balance de Energía.....	54
Efectos Ambientales.....	56
Contaminación del Aire.....	56
Efectos del Etanol en la Agricultura.....	57
Recursos Renovables.....	57
Plomo.....	57
Principales Ventajas y Desventajas de la Utilización de Biodiesel.....	58
Ambiente.....	58
Energéticas.....	59
Económicas.....	59
Otras Ventajas de su Utilización.....	60
Principales desventajas.....	61
Principales Ventajas y Desventajas de la Utilización del Etanol.....	62
Ambientales.....	62
Energéticas y Económicas.....	62

Principales Desventajas.....	63
Biocombustibles de Segunda Generación.....	63
Producción.....	64
Estados Unidos.....	65
Brasil.....	66
Colombia.....	67
Europa.....	68
Venezuela.....	69
Biocombustible en México.....	69
Chiapas a la Vanguardia.....	71
Perspectivas Generales.....	72
Referencias Bibliográficas.....	76

## RESUMEN.

La presente investigación muestra un estudio que consiste en evaluar el efecto del sorgo para la obtención de biocombustible; ya que el sorgo ha sido considerado en países como la India y la zona central de África. De hecho en estas regiones y también en China, es un alimento básico de la dieta de millones de personas. Sin embargo, los países desarrollados no incluyen el sorgo en su alimentación sino que lo emplean como forraje para el alimento del ganado. En la actualidad la creciente preocupación por el medio ambiente y la necesidad por reducir las emisiones de carbono, para disminuir su efecto sobre el clima global han redundado en numerosos acuerdos y compromisos entre los países interesados a fomentar el desarrollo de energía alternativa renovable de menor impacto ambiental. Debido a la creciente importancia y el renovado interés por el eficiente manejo de los recursos no renovable, han llegado a un crecimiento acelerado de la producción y utilización de biocombustibles en muchas partes del mundo, debido al interés por el uso de estas alternativas energéticas renovables y la opción de utilizar biocombustibles líquidos como formas sustitutas de los combustibles de origen fósil

**Palabras claves:** *Sorghum bicolor*, biocombustible.

## I. INTRODUCCIÓN.

En los últimos años ha habido un incremento notorio en el interés de políticos y ambientalistas para establecer una producción sólida de energías renovables. De 1990 a 1996 hubo un incremento en la producción de CO<sub>2</sub> en Norteamérica, (excluyendo a México) de 8.7% causado por la utilización de combustibles fósiles. En este mismo lapso de tiempo, América Latina incrementó en 13.2% las emisiones de CO<sub>2</sub> (Pinguelli y Kahn 2001).

Se espera que la producción de energías renovables disminuya la dependencia de los países de Sudamérica y el Medio Oriente que poseen combustibles fósiles. Si se inicia de lleno en la producción de energías renovables, esto contribuirá en una reducción significativa del gas de efecto invernadero dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

En la actualidad la creciente preocupación por el medio ambiente y la necesidad por reducir las emisiones de carbono, para disminuir su efecto sobre el clima global han redundado en numerosos acuerdos y compromisos entre los países interesados a fomentar el desarrollo de energía alternativa renovable de menor impacto ambiental. Debido a la creciente importancia y el renovado interés por el eficiente manejo de los recursos no renovable, han llegado a un crecimiento acelerado de la producción y utilización de biocombustibles en muchas partes del mundo, debido al interés por el uso de estas alternativas energéticas renovables y la opción de utilizar biocombustibles líquidos como formas sustitutas de los combustibles de origen fósil.

Existen además argumentos en contra. Los críticos de este tipo de combustibles alternativos aseguran que los beneficios que se pueden obtener serían bastante inferiores a los esperados inicialmente y que los efectos de su implementación a gran escala desembocarían en un aumento desmedido en el precio de los alimentos y cambios en el uso de la tierra. Estas perspectivas han generado intensos debates sobre la ventaja de la expansión de la producción de biocombustibles que continúan hasta la fecha.

A pesar de los debate, una larga lista de países ha tomado medidas para apoyar el desarrollo de la producción y consumo de biocombustibles. Esta lista incluye tanto países desarrollados como en vía de desarrollo, localizados en todos los continentes. México no es ajeno a esta realidad, es altamente vulnerable en materia energética, sumado a las fuentes de energía no renovables, que obligan a adoptar nuevas medidas, para desarrollar estrategias y políticas interesadas a mitigar los impactos del consumo del petróleo.

Es aquí donde entra en discusión la posibilidad de producir y utilizar biocombustibles líquidos en nuestro país, como alternativa viable en respuesta a la fuerte dependencia hacia los derivados del petróleo. Los beneficios posibles abarcan aspectos energéticos, económicos, sociales y ambientales, se busca aumentar la soberanía energética, disminuir progresivamente el consumo del petróleo, impulsar el desarrollo de cadenas agroindustriales e impulsar el desarrollo económico y social del país, además de la contribución al medio ambiente.

En países como Estados Unidos la mayor parte del etanol es producido a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.), pero la producción de granos es insuficiente para satisfacer la demanda local y de otros países, particularmente latinoamericanos, donde el maíz forma parte de la canasta básica. Estos países dependen de la producción de maíz de Estados Unidos para llenar sus demandas alimenticias y mantener un precio moderado o alcanzable por parte de familias de escasos recursos, ya que la producción propia no es suficiente para satisfacer la demanda (Vermerris y Saballos, 2007).

Un estudio realizado por el Departamento de Agricultura y el Departamento de Energía de Estados Unidos ha mostrado que más de 1.3 billones de toneladas de biomasa de desperdicio de actividades agrícolas y forestales podrían usarse anualmente para su procesamiento con fines de producción de biocombustibles. Esta cantidad sería suficiente para remplazar 30% de los requerimientos de combustible para fines de transporte en este país (Taylor, s.f.).

La hidrólisis enzimática de biomasa lignocelulosa de hojas y tallos de maíz y sorgo (*Sorghum bicolor*) puede proveer una fuente abundante de azúcares fermentables. Aunque la producción de etanol a partir de estos azúcares es factible desde el punto de vista del balance energético, actualmente su producción no es

económicamente competitiva. Se puede hacer mejoras en el procesamiento, incrementar los rendimientos y mejorar la composición de la biomasa de estos cultivos.

El sorgo es el principal cereal de importancia en muchas partes del mundo por su resistencia a sequía y altas temperaturas, además radica en la nutrición de la materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales, lo cual, a su vez, permite que en el mercado alimentario se disponga de proteínas de origen animal. En la industria de extracción se emplea fundamentalmente para la obtención de almidón, alcohol y glucosa, además en la fermentación se produce tres solventes principales: alcohol, acetona y butanol. Aun y cuando México figura dentro de los cinco países con mayor producción, es el tercer país más demandante, después de Estados Unidos y la India (Galarza *et al.*, 2003).

A pesar de que México cuenta con importantes zonas productoras de sorgo (Noreste: Tamaulipas, Bajío; Guanajuato, Michoacán y Jalisco, Noroeste, Sinaloa), y que siembra en ambos ciclos del año agrícola, los problemas de infraestructura, así como los de comercialización provocan que se siga importando elevados volúmenes de sorgo proveniente de otros países. Si bien esto es necesario completar la demanda, hoy es conveniente meditar sobre los pro y contra que tendría alcanzar la autosuficiencia o seguir dependiendo del exterior (ASERCA, 2000).

Tomando en cuenta todo lo anterior, el objetivo del trabajo es.

## **Objetivo General.**

- ❖ Analizar el potencial productivo y utilización del cultivo del sorgo en la producción de biocombustibles.

## **II. REVISION DE LITERATURA.**

### **Situación Energética Internacional.**

La crisis del petróleo viene siendo recurrente desde la primera gran crisis del año 1973 y en los últimos años los precios del petróleo se han vuelto más sensibles a los conflictos políticos del Oriente Medio y a las acciones de agentes especulativos en el mercado petrolero(ANCAP, 2001).

El escenario energético mundial ha sufrido en años recientes grandes transformaciones que han llevado a la necesidad de promover la generación de nuevas fuentes de energías que puedan remplazar a los combustibles fósiles, actualmente las fuentes de energía no renovables representan más del 80% de la matriz energética mundial.

A su vez, el progresivo agotamiento de los combustibles fósiles en varias regiones del mundo de reservas petroleras conocidas además de las de gas natural, y su carácter de no renovable hacen que ello sean una alternativa con un horizonte finito, en un mundo donde se considera que el 70% de todas las cosas que hay en nuestro hogar, trabajo etc. Proviene del petróleo y sus derivados, así como también los pesticidas y fertilizantes son derivados del petróleo. A esto debe sumarse además la creciente demanda mundial de combustibles como consecuencia del rápido crecimiento de países como India y China.

La perspectiva histórica de agotamiento tendencial de las fuentes fósiles, las alzas de precios, la creciente preocupación por el cuidado del ambiente de las fuentes renovables y el aprovechamiento de la agroenergía.

A nivel global se destacan países de Europa y América del Norte, por su temprano interés y promoción de biocombustibles. Brasil mantuvo un destacado papel con políticas activas de promoción durante largo tiempo, llevando adelante desde mediados de los 70's el programa PROALCOOL.

En la actualidad son numerosos países que diseñan programas activos para incorporación de biocombustibles (etanol y biodiesel) en su matriz energética. Un rasgo común de esos programas de promoción de los biocombustibles ha sido el apoyo mediante subsidios y/o reservas de mercado para hacer viables estas alternativas dado su mayor costo respecto a los combustibles de origen fósil.

Estas transferencias o subsidios se han fundamentado de diversas formas, atendiendo a las peculiaridades de cada situación nacional. Así, mientras en la UE. Los principales fundamentos parecen haberse ubicado en los aspectos ambientales, en EE.UU han sido importantes las consideraciones de carácter estratégico relacionadas con la independencia en el abastecimiento energético, aspecto que también ha sido el origen del impulso brasileño a su programa de etanol. En consecuencia, el tratamiento del tema y en particular el diseño y la gestión de las políticas públicas al respecto, usualmente incorpora esas variadas perspectivas y diferentes alcances temporales. Esto resulta en las diferentes características que adopta el diseño de la política sobre agroenergía en los distintos países.

El desarrollo del sector bioenergético está apoyando en sólidas estrategias de política, si bien ellas difieren en los fundamentos, diseño de la estrategia, instrumentos, materias primas principales y otros rasgos de la política de promoción. Los países que avanzaron en esa dirección van consolidando nuevas cadenas agroindustriales y provocando el surgimiento de mercados de comodines energéticos (ANCAP, 2001).

El aumento de los volúmenes de comercio internacional de etanol y biodiesel, y las características de estos productos (homogéneos estandarizables, producidos en grandes cantidades por diversos proveedores, etc.) ha promovido el desarrollo de los mercados incluso permitiendo que se estén cotizando contratos en algunos mercados de futuro de importancia.

La importancia del costo de la materia prima en la competitividad de esas cadenas se observa en las opciones que realiza cada país, entre ellas en el apoyo de la materia prima disponible que finalmente generan el combustible de menor costo.

Como tendencia reciente cabe destacar el importante esfuerzo en investigación y desarrollo de tecnología para lograr viabilizar económicamente el uso de fuentes lignocelulósicas como materia prima, que en general se trata de residuos de escasos o nulo valor en el mercado. En todo el mundo se van instrumentando políticas activas para lograr la incorporación creciente de etanol y biodiesel en la matriz de consumo de combustible líquido.

La Unión Europea ha organizado la promoción a este combustible a partir de:

- a) Exoneraciones fiscales (instrumento significativo por la alta carga tributaria de los combustibles en Europa);
- b) Mezcla obligatoria de biocombustibles; en proporciones crecientes (2% en 2005; 5.75% en 2010; 8% en 2020);
- c) Políticas agrícolas que también permitan manejar subsidios a actividades orientadas a mercados no alimenticios.

En el caso de los EE.UU los instrumentos principales que se han combinado (a nivel municipal y federal) son:

- a) Programas de corte obligatorio y sustitución progresiva del MTBE (Éter metil tert-butílico) por etanol como aditivo detonante en las naftas;
- b) Altos aranceles de importación;
- c) Subsidios directos (bajo la forma de créditos fiscales) a los elaboradores de biocombustibles

En el escenario regional también se evidencian políticas activas en todos los países para la promoción de estos biocombustibles.

### **Situación Ambiental a Nivel Mundial.**

El cambio climático es el mayor desafío ambiental que enfrenta la humanidad. Se explica por el aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y, en menor medida, de otros gases de efecto invernadero (metano, óxido nitroso, etc.) estos gases atrapan aparte de la energía solar que ingresa a la atmósfera y luego se ve impedida de volver al espacio exterior. Sin estos gases la temperatura media del planeta sería tan helada como la de Marte, pero su acumulación más allá de ciertos límites incrementa el efecto invernadero y amenaza ocasionar efectos

desestabilizadores de gran escala en el sistema climático mundial. Actualmente se emiten 6.3 mil millones de toneladas cada año, de los que la mitad se absorbe por los océanos y ecosistemas terrestres; y la mitad se acumula en la atmósfera.

El CO<sub>2</sub> resulta, principalmente, de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) mayormente en los países industrializados, y en menor medida de cambios en el uso de la tierra, como la deforestación (ANCAP, 2001).

El Protocolo de Kyoto, que entró en vigor en febrero del 2005, es de cumplimiento obligatorio para todos los países que lo ratificaron. En su artículo 12 incluye un mecanismo que permite vincular a los países industrializados con compromisos cuantitativos de reducir emisiones (llamados países del Anexo I) con los países como Uruguay, sin compromisos cuantitativos (países no Anexo I). Es conocido como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), y tiene el objetivo de ayudar a los países no Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y a los países Anexos I a cumplir con sus compromisos obligatorios de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El MDL se basa en proyectos concretos, bilaterales o unilaterales, y es la primera experiencia global de creación de un mercado que reconoce el valor de un servicio ambiental, en este caso la mitigación del cambio climático. Este mercado emergente puede ser de una gran magnitud. Cada tonelada de dióxido de carbono no emitida o capturada puede dar lugar a créditos de carbono, bajo las reglas del MDL. Los precios de los certificados de emisiones reducidas de CO<sub>2</sub> han crecido en forma muy importante en los últimos meses, debido a los compromisos de los países industrializados. Los certificados de reducción de emisiones obtenibles en el MDL (llamados CERs) pueden ya usarse en el Sistema Europeo y si bien hoy alcanzan precios aún inferiores (del orden de los US\$ 104) tendrán a converger con los precios que se trazan en Europa a medida que se hagan fluidos del mecanismo (ANCAP, 2001).

## **Biocombustibles.**

El peso creciente del sector del transporte en la demanda de energía hace necesario emprender acciones para mejorar la eficiencia y desarrollar nuevas alternativas energéticas. En la actualidad, 98% del mercado del transporte depende del petróleo, por lo que cualquier esfuerzo encaminado a la diversificación en el sector presenta aspectos estratégicos importantes que deben ser considerados en una planificación a mediano y largo plazo. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible>)

La estrategia para la diversificación energética en el transporte contempla diferentes posibilidades: utilización de gases licuados del petróleo, gas natural, electricidad, y también la utilización de biocombustibles líquidos que son todos aquellos combustibles líquidos derivados de la biomasa vegetal que tienen características parecidas a las de los combustibles fósiles, lo que permite su utilización en motores sin tener que efectuar modificaciones importantes; además, no contienen azufre (uno de los principales causantes de la lluvia ácida) ni contribuyen a aumentar la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.

Los biocombustibles son combustibles de origen biológico obtenido de manera renovable a partir de restos orgánicos. Estos restos orgánicos proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas. Todos ellos reducen el volumen total de CO<sub>2</sub> que se emite en la atmósfera, ya que lo absorben a medida que crecen y emiten prácticamente la misma cantidad que los combustibles convencionales cuando se queman, por lo que se produce un proceso de ciclo cerrado. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible>)

Los biocombustibles son a menudo mezclados con otros combustibles en pequeñas proporciones, 5 o 10%. El etanol se puede utilizar como único combustible, realizando modificaciones a los motores, o en mezclas con la gasolina desde un 10% hasta mezclas mucho más altas como el E-85 que es un combustible que contiene hasta el 85% de etanol y sólo un 15% de gasolina. El etanol también se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina estándar, reemplazando al metil tert-butil éter (MTBE). Este último es responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea además proporcionando una reducción útil pero limitada de gases de efecto invernadero.

## Historia

La historia de los biocombustibles y la idea de utilizarlos como combustible no es nueva, la misma se remota a principios del siglo XX. Es necesario recordar lo que han dicho y han hecho dos de los padres de la industria automotriz: Sir Rudolf Diesel y Henry Ford.

El primero, que creó el motor de diesel en 1895, dijo: “el uso de aceites vegetales como combustibles puede parecer insignificante ahora. Pero estos aceites pueden convertirse con el paso del tiempo en tan importantes como productos del petróleo o el carbón son ahora”.(<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables>)

Rodolf Diesel, entre 1893 y 1897 construyó el primer motor del mundo que quemaba aceite vegetal (aceite de palma) en condiciones de trabajo usó aceite de maní en sus motores de compresión, para impulsar una de sus creaciones en la exposición de Paría de 1900 (ANCAP, 2001).

Por otra parte, según se indicó en 1925 en el New York Times, Henry Ford predijo que el etanol sería el combustible del futuro: “Existe combustible en cada partícula de material vegetal que puede ser fermentada.

Luego a lo largo del siglo XX se llevaron a cabo varias experiencias en la utilización de aceites vegetales como combustible, pero sin lograr alcanzar mayor trascendencia. Fue a partir de la década de los 70's, que los biocombustibles comenzaron a desarrollarse de forma significativa a raíz de la crisis energética que tuvo lugar en esos años, en donde el precio del petróleo alcanzó niveles muy altos debido a que hubo reducciones del lado de la oferta (ANCAP, 2001).

En 1975, con el lanzamiento del Programa Nacional de Alcohol (PROALCOÓL), en Brasil, se puso en marcha el que es considerado como el primer y mayor programa de energía renovables a gran escala hasta la fecha, cuyo objetivo era para estimular la sustitución de las gasolinas por alcohol, y en consecuencia, reducir la dependencia del país frente a la utilización de combustibles fósiles (en la

relación a la importancia del petróleo). (<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>)

Las primera pruebas técnica con biodiesel se realizaron en 1982, en Austria y Alemania, y fue en 1985 cuando en Silberbeg (Austria) se construyó la primera planta piloto de producción del mismo. Actualmente países como Alemania, Francia, Austria, Estados Unidos, Canadá, Suecia y Brasil, son pioneros en el desarrollo, producción y utilización del biodiesel. Hoy en día, los biocombustibles se han transformado en una fuente natural e importante de energía alternativa. Debido a la volatilidad del petróleo, al eventual agotamiento de los combustibles fósiles y el calentamiento global, estos combustibles son cada vez más utilizados a nivel mundial (FAO, 2008).

### **Definiciones y Generalidades.**

Biocombustibles es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, esto es, organismos recientemente vivos a sus desechos metabólicos.

Desde una perspectiva etimológica, sería los combustibles de origen biológico, pero esta definición incluiría el petróleo, ya que este procede de restos fósiles que existen desde hace millones de años. Una mejor definición sería que son los combustibles de origen biológico obtenidos de manera renovable a partir de restos orgánicos.

Son alcoholes, éteres, ésteres y otros componentes químicos obtenidos a partir de productos agrícolas, del procesamiento de productos agroindustriales o de residuos orgánicos, llamados biomasa, como las plantas herbáceas y leñosas, residuos de la agricultura y actividad forestal, y una gran cantidad de desechos industriales, como los desperdicios de la industria alimenticia (Gerardo, 2008).

Los biocombustibles constituyen la primera fuente de energía que conoció la humanidad. Entre las fuentes de los biocombustibles, están la biomasa proveniente de cultivos como caña de azúcar, maíz sorgo, yuca y otros, usada para producir etanol, y los aceites provenientes de palma africana, soja, higuera y otras plantas, utilizadas para producir biodiesel.

Los biocombustibles se encuentran clasificados dentro de las energías de base renovable (Gerardo, 2008).

#### Definición de energía renovable

Consiste en la energía producida y/o derivada de fuentes que se renuevan ilimitadamente (hídrica, solar y eólica) o generada por combustibles renovables (biomasa producida en forma sostenible, se basan en valores caloríficos netos).

Generación, siendo los de segunda generación, aquellos producidos a partir de a su vez, se los clasifica en biocombustibles de primera generación y de segunda materia prima que no son fuentes alimenticias. Los combustibles de primera generación son el etanol y el biodiesel, que se produce mediante las técnicas conocidas a partir de cultivos tradicionales como la caña de azúcar, el maíz, el sorgo, la palma africana, la soja, entre otros (ANCAP, 2001).

Se puede a su vez subclasificarlos en biocombustibles líquidos, dentro los que se pueden incluir el biodiesel, el bioetanol y el biometanol, entre otros, aunque los principales por su desarrollo y utilización a nivel mundial, son el biodiesel (biogasóleo) y el bioetanol ó etanol (bioalcohol).

Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón (ANCAP, 2001).

Se pueden distinguir dos clases de biocombustibles líquidos para su utilización en el sector del transporte:

1. El alcohol etílico (bioetanol) y su derivado el 5-etil-ter-butyl-eter (ETBE) que puede sustituir al aditivo metil-ter-butyl-eter (MTBE) que actualmente se está

utilizando como producto oxigenado sustitutivo del tetraetilo de plomo para mejorar el índice de octanos de la gasolina.

2. Los aceites vegetales (bioaceites), obtenidos a partir de cultivos de semillas oleaginosas, como la colza, la soja y el girasol. Éstos pueden ser utilizados en forma de aceite sin refinar o modificarlos, mediante un proceso químico, para obtener ésteres metílicos o etílicos.

El bioetanol y sus derivados pueden utilizarse en los motores, sustituyendo a la gasolina o bien mezclados con ella en pequeñas proporciones. Los bioaceites y sus derivados encuentran su aplicación en motores diesel, sustituyendo al gasóleo de automoción o mezclados con él.

#### Biodiesel.

Es un combustible líquido que sirve como remplazo del gas oíl (diesel oíl por su nombre en el mercado internacional) y se produce a partir de materias primas renovables (biomasas) como ser aceites y grasas vegetales o animales. El término biomasa hace referencia a toda materia prima que es obtenida a través de la fotosíntesis. La mayoría de las especies vegetales utilizan energía solar para crear azúcares, partiendo de sustancias simples como el agua y el dióxido de carbono, almacenando esta energía en forma de moléculas de glucosa, almidón aceites y otras. (<http://es.wikipedia.org/wiki/biomasa>)

El biodiesel se trata de esterres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceite vegetales y que se emplea en los motores de ignición de compresión (motores diesel) o en caldera de calefacción.

Se emplea en motores Diesel de casi cualquier tipo realizando poca o ninguna modificación en los mismos. Puede utilizarse en forma pura o puede ser mezclado con Gas oíl de origen fósil (petróleo) en cualquier proporción. El biodiesel es no tóxico y es biodegradable. Se puede obtener en un proceso relativamente simple usando el equipo apropiado. (<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables>)

La producción de biodiesel necesita la reacción de metanol (nombre comercial alcohol de quemar o alcohol metílico) con el aceite en la presencia de un catalizador (acelerador de reacciones o procesos) apropiado. En el proceso se forma un líquido liviano de base metílica estearina /biodiesel sin purificar) que se separa de otra fase mas pesada glicerol (glicerina cruda, sub producto de la producción de biodiesel). (<http://es.wikipedia.org/wiki/biomasa>)

El biodiesel puede mezclarse con gasóleo procedente del refino de petróleo en diferentes cantidades. Se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla: B100 en caso de utilizar sólo biodiesel, u otras notaciones como B5, B15, B30 o B50, donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiesel en la mezcla.

El aceite vegetal, cuyas propiedades para la impulsión de motores se conocen desde la invención del motor diesel gracias a los trabajos de Rudolf Diesel, ya se destinaba a la combustión en motores de ciclo diesel convencionales o adaptados. A principios del siglo XXI, en el contexto de búsqueda de nuevas fuentes de energía y la creciente preocupación por el calentamiento global del planeta, se impulsó su desarrollo para su utilización en automóviles como combustible alternativo a los derivados del petróleo. (<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>)

El proceso de transesterificación consiste en combinar, el aceite (normalmente aceite vegetal) con un alcohol ligero, normalmente metanol, y deja como residuo de valor añadido propanotriol (glicerina) que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras. (<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>).

La fuente de aceite vegetal suele ser aceite de colza, ya que es una especie con alto contenido de aceite, que se adapta bien a los climas fríos. Sin embargo existen otras variedades con mayor rendimiento por hectárea, tales como la palma, la jatropha, curcas etc. También se pueden utilizar aceites usados (por ejemplo, aceites de fritura), en cuyo caso la materia prima es muy barata y, además, se reciclan lo que en otro caso serían residuos.

Además, existen otras materias primas en las cuales se pueden extraer aceite para utilizarlas en el proceso de producción de biodiesel. Las materias primas más utilizadas en la selva amazónica son la *Jatropha curcas* (piñón en portugués), *Sacha inchi*, el ricino (mamona en portugués) y la palma aceitera.

En la actualidad existen diversos procesos industriales mediante los cuales se pueden obtener biodiesel. Los más importantes son los siguientes:

1. Proceso base-base, mediante el cual se utiliza como catalizador un hidróxido. Este hidróxido puede ser hidróxido de sodio (sosa cáustica) o hidróxido de potasio (potasa cáustica).
2. Proceso ácido-base. Este proceso consiste en hacer primero una esterificación ácida y luego seguir el proceso normal (base-base), se usa generalmente para aceites con alto índice de acidez.
3. Procesos supercríticos. En este proceso ya no es necesario la presencia de catalizador, simplemente se hacen a presiones elevadas en las que el aceite y el alcohol reaccionan sin necesidad de que un agente externo como el hidróxido actúe en la reacción.
4. Procesos enzimáticos. En la actualidad se están investigando algunas enzimas que puedan servir como aceleradores de la reacción aceite-alcohol. Este proceso no se usa en la actualidad debido a su alto coste, el cual impide que se produzca biodiesel en grandes cantidades.
5. Método de reacción Ultrasónica. En el método de reacción ultrasónica, las ondas ultrasónicas causan que la mezcla produzca y colapse burbujas constantemente. Esta cavitación proporciona simultáneamente la mezcla y el calor necesarios para llevar a cabo el proceso de transesterificación. Así, utilizando un reactor ultrasónico para la producción del biodiesel, se reduce drásticamente el tiempo, temperatura y energía necesaria para la reacción. Y no sólo reduce el tiempo de proceso sino también de separación. De ahí que el proceso de transesterificación puede correr en línea en lugar de utilizar el lento método de procesamiento por lotes. Los dispositivos ultrasónicos de escala industrial permiten el procesamiento de varios miles de barriles por día.

## Alcohol Etílico- Etanol.

Es un alcohol de origen vegetal, fabricado a partir de materias ricas en azúcares o en almidón como, por ejemplo, la remolacha, la caña de azúcar, sorgo, maíz o algunos cereales como el trigo y la cebada. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol\\_combustible](http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol_combustible)).

El etanol puede producirse de dos formas. La mayor parte de la producción mundial se obtiene del procesamiento de materias biológica, en particular de ciertas plantas con azúcares. El etanol así producido se conoce como bioetanol. Por otra parte, también puede obtenerse etanol mediante la modificación química del etileno, por hidratación([http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol\\_combustible](http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol_combustible)).

Este etanol, conocido como bioetanol, está sujeto a una fuerte polémica, para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medio-ambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantarse territorios vírgenes y terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética. A pesar de que se obtiene fácilmente del azúcar o del almidón en cosechas de maíz y caña de azúcar, entre otros, los cuales métodos de producción de bioetanol utilizan una cantidad significativa de energía en comparación con la energía obtenida del combustible obtenido. Por esta razón no es posible sustituir eternamente el consumo actual de combustible fósiles por bioetanol. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol\\_combustible](http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol_combustible))

Dadas sus propiedades químicas puede sustituir o mezclarse con gasolinas de origen fósil y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados del petróleo. El etanol se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina estándar, reemplazando el MTBE (éter metil tert-butílico). Este último es responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea. También puede utilizarse como combustible en las celdas de combustible.

Se puede encontrar dos tipos de etanol utilizados como combustibles, o aditivos, el etanol anhidro y el etanol hidratado. Se diferencian en el contenido de agua que poseen, que es de aproximadamente 0.5% en el anhidro y cercano al 5% en el

hidratado. El primero se utiliza mezclado con gasolina de origen fósil, mientras que el hidratado se utiliza puro en los vehículos que han sido debidamente adaptados para este combustible. El etanol hidratado proviene directamente de la torre de destilación, mientras que para obtener al anhidro, se requiere un proceso adicional, mediante el cual se remueve la mayoría del agua combustible. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol\\_combustible](http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol_combustible))

### **Producción y Consumo Mundial del Sorgo.**

La demanda de sorgo se encuentra fuertemente concentrada en los países desarrollados, donde se destinan alrededor del 97% para consumo animal y en algunos países en desarrollo, especialmente América Latina, el 80% de todo el sorgo producido se utiliza para el consumo animal. Los Estados Unidos, México y Japón son los principales consumidores de sorgo, seguidos por Argentina y los países que fueron de la Unión Soviética y Venezuela. Estos países absorben conjuntamente más del 80% de la producción mundial de sorgo para consumo animal (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, 2009).

En la región de América Central y el Caribe, la producción está dominada por México (90% de la producción regional total) y en América del Sur se concentra Argentina (60% del total de la región) y en las zonas áridas del Brasil, el norte de Colombia y Venezuela (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, 2009).

La producción mundial de sorgo en el ciclo agrícola 2007/08 fue de 63.53 millones de toneladas, cifra superior en 6.90 millones de toneladas a la registrada el año anterior. Las estimaciones de producción del mes de Enero para el ciclo agrícola 2008/0 son de 63.79 millones de toneladas, 259,000 toneladas más que el ciclo 2007/08. El consumo mundial de sorgo se ha comportado de manera mixta en los últimos años, las estimaciones mundiales al mes de Enero para el ciclo 2008/09 muestran una ligera reducción de 0.40 millones de toneladas en el consumo mundial, para ubicarse en 62.83 millones de toneladas (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, 2009).

El principal país productor de sorgo es Estados Unidos, en el ciclo agrícola 2007/08 reportó una producción de 12.63 millones de toneladas, aproximadamente el

doble de producción que México (6.20 millones de toneladas). El segundo país productor de sorgo es Nigeria con un volumen de 10 millones de toneladas, seguido de India con 7.8 millones. México es el cuarto productor mundial con una participación del 10% de producción mundial (Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, 2009).

### **Importancia del Sorgo en México.**

El sorgo es uno de los principales granos en México su importancia radica en que nutre de materia prima a la industria generadora de alimentos balanceados para animales la cual a su vez permite que el mercado alimentario disponga de proteínas de origen animal, forma parte de una amplia cadena en la que se involucran una diversidad de agentes que van desde los productores pasando por las industrias hasta llegar a los consumidores (Claridades Agropecuarias, 2007).

Los rendimientos que se obtienen en México son muy variables, sin embargo, se tiene un promedio nacional de 2.5 toneladas por hectáreas; una de las zonas que alcanza los mejores rendimientos es el Bajío (Guanajuato, Michoacán y Jalisco) con 10 toneladas de grano por hectáreas (Jiménez, 2009). La producción de sorgo en México, compite por el uso del suelo básicamente con el maíz por lo que los productores deben tener en cuenta las ventajas y desventajas que técnicamente ofrecen ambos granos. Su participación en la agricultura es de gran importancia pues ocupa en segundo lugar en cuanto a producción obtenida de los diez principales granos básicos, después del maíz y el tercer lugar en cuanto a superficie sembrada después del maíz y el frijol (Robles, 2000).

El sorgo grano ha sido considerado como un sustituto de maíz, ya que es utilizado en la preparación de alimentos balanceados, como alimento directo para aves, cerdos y bovinos, fuente de materia prima para la obtención de harina (almidón) y aceites, así como también en el aprovechamiento de rastrojo (esquimo) para alimento de bovino y equinos en menores proporciones (Cubero, 2003). La preferencia hacia el sorgo, en relación con otros cultivos, se debe principalmente por su amplia tolerancia a condiciones de baja humedad del suelo y porque es redituable aun en condiciones poco favorables; es un cultivo mecanizado desde la siembra a cosecha, y pueden establecerse variedades o híbridos de doble propósito, lo que mejora las posibilidades de ingreso para el productor (INIFAP-CIRCO, 2003).

## **Sorgo.**

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es un cereal originario de la India y la zona central de África. De hecho en estas regiones y también en China, es un alimento básico de la dieta de millones de personas. Sin embargo, los países desarrollados no incluyen el sorgo en su alimentación sino que lo emplean como forraje para el alimento del ganado. El sorgo (*Sorghum bicolor*) se conoce con varios nombres: mijo grande y maíz de Guinea en África occidental, kafir en África austral, duro en el Sudan, mtama en África oriental, jowar en la India y kaoliang en China (FAO, 1995).

Los primeros informes muestran que el sorgo existió en la India en siglo 1 D.C. Esculturas que lo describen se hallaron en ruinas Asirias de 700 años A.c. Sin embargo, el sorgo quizás sea originario de África Central Etiopia o Sudan, pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad de tipos. Esta diversidad disminuye hacia el Norte de África y Asia. Existen si embargo, ciertas evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India.([www.agrobit.com/info\\_tecnica/agricultura/sorgo/AG\\_00000sg.htm](http://www.agrobit.com/info_tecnica/agricultura/sorgo/AG_00000sg.htm))

La mitad del sorgo que se produce anualmente en el mundo, (30 millones de toneladas), se destinan al consumo humano. En USA, solo el 7% del sorgo cosechado se destina para el consumo humano en forma de harinas o alcohol.(<http://www.agromail.net/agro/t5.htm>)

Aunque el sorgo llegó a América Latina a través del comercio de esclavos y traído por navegantes de la ruta de comercio Europa – África – América Latina en el siglo XVI, el cultivo no cobro importancia sino hasta el siglo actual. Algo similar ocurrió con el sorgo en Australia. Ya para 1900 el sorgo granífero había sido establecido en las Grandes Planicies y en el estado de California en EUA. Poco después, nuevos híbridos y líneas progenitoras fueron desarrollados y se empezó la distribución de semillas híbridas en 1956, llegando a México y Argentina en 1957. Desde entonces, la producción de sorgo para grano ha sido muy importante en América Latina (FAO, 1995).

El sorgo se introdujo a México en la década de los 50's por la oficina de estudios especiales de la fundación ROCKEFELER con 150 variedades de polinización libre se los Estados Unidos de Norte América, tratando de aprovechar

las características que posee, como es su manejo relativamente fácil y sobre todo sus resistencias a la diferencia de agua comparada con la de otras especies cultivadas. Sin embargo, existen reportes que comprueban que ese cultivo ya se sembraba en México a finales del siglo XIX (Robles, 2000).

El sorgo en México empezó a adquirir importancia aproximadamente en el año de 1958, en la zona de Tamaulipas (Rio Bravo), al iniciarse el desplazamiento del cultivo del algodón en aquella región y es uno de los cultivos que día con día va adquiriendo cada vez mas importancia y se ha visto que puede ser un complemento o puede sustituir al maíz en la mayoría de los usos que éste tiene, como forraje y grano para la alimentación humana de animales y en el uso industrial.

Al introducirse el sorgo en México se introdujo también la tecnología originando con esto que en la actualidad el mercado de semillas certificadas dependa casi de su totalidad de compañías extranjeras, en México, de la totalidad de semillas que se utiliza para la siembra, el 90-95% lo constituye compañías extranjeras y el 5-10% restantes de dependencias de gobierno como INIFAP y Fundación Produce (Robles, 2000).

Las virtudes que ofrece el sorgo para su cultivo son: mayor precocidad y resistencia a la sequia, debido a que la planta tiene la capacidad de suspender su crecimiento cuando le falta agua, renovando nuevamente su ciclo de crecimiento con la primera lluvia, mientras que el maíz, en estas condiciones, se muere. Otros aspectos positivos que le han dado importancia, es que puede utilizarse de la misma manera que el maíz, ya que la composición es semejante, e incluso mas rica en proteína, la harina que puede extraer es de sabor agradable de fácil digestión y muy semejante a la del trigo. En algunos países del mundo, toma un aspecto agradable, constituyendo así un alimento semejante al arroz por su parte, las desventajas que ofrece, es que la cosecha está más dispuesta a los daños que le causan los pájaros (ASERCA, 2000).

## Descripción Botánica del Sorgo.

El sorgo pertenece a la familia de las gramíneas. Las especies son el *Sorghum bicolor* y el *Andropogum sudanensis*. El sorgo tiene una altura de 1 a 2m. Tiene inflorescencia en panojas y semillas de 3mm esféricas y oblongas, de color negro, rojizo y amarillento. Tiene un sistema radicular que puede llegar en terrenos permeables a 2m de profundidad. Las flores tienen estambres y pistilos, pero se han encontrado en Sudán sorgos dioicos ([www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)).

### Sistema Radicular

Las raíces del sorgo son adventicias, fibrosas y desarrollan numerosas raíces laterales. La profunda ramificación y amplia distribución del sistema radicular es una de las razones por las cuales el sorgo es tan resistente a la falta de agua. La planta puede permanecer latente durante largos periodos de sequía sin que las partes florales en desarrollo mueran, pudiendo además continuar nuevamente su crecimiento una vez que las condiciones vuelvan a ser favorables (Robles, 2000).

### Tallos

Estos son cilíndricos, erectos, sólidos y pueden crecer a una altura de 0.60m. a 3.50m. Estando divididos longitudinalmente en canutos (entrenudos) cuyas uniones los forman nudos y de los cuales emergen las hojas. Cada uno está provisto de una yema lateral. La longitud de los entrenudos determinan la altura de la planta, por lo que algunas variedades enanas dobles, enanas y altas, de la misma precocidad y en el mismo estado de madurez, tendrá el mismo número de hojas, nudos y entrenudos, siendo la diferencia de altura debida a la mayor longitud de los entrenudos en algunas variedades pero menor en otras (Robles, 2000).

### Hojas

Las hojas aparecen alternas sobre el tallo, las vainas florales son largas y en las variedades enanas se encuentran superpuestas, todas las variedades varían en el tamaño de sus hojas, pero todas ellas las posee algo más pequeño que las de maíz. Las hojas del sorgo se doblan durante periodos de sequía, características que reduce la transpiración, contribuye a tan peculiar resistencia de las especies a la sequía (Robles, 2000).

## Flores

La inflorescencia del sorgo se denomina con el nombre de panícula, ésta es compacta o semicompacta en algunas variedades como los milos, hegaris, kafirs, etcétera, y abiertas en otras como los Shallus, sorgos escoberos, el pasto Sudán, algunos sorgos forrajeros, etcétera. Las florecillas sésil contienen un ovario, el cual después de la fecundación se desarrollan para formar una semilla (Robles, 2000).

El sorgo generalmente se auto fecunda: sin embargo, no existe ningún obstáculo para la fecundación cruzada, pues cuando dos variedades diferentes se encuentran en parcelas adyacentes pueden estimarse el cruzamiento en un 5% o más según las variedades. El polen aparece inmediatamente después de la dehiscencia y retiene su viabilidad por menos de una hora. Los estigma, por el contrario, permanecen receptivos por varios días (Robles, 2000)

## Grano

Los granos de sorgo, en número de 25000 a 60000 por kg. Son pequeños en comparación con aquellos de maíz, los cuales se encuentran en número de 4000 a 8000 por kg. El color de la semilla, puede ser blanco, rojo, amarillo o café y proviene de capas de células que envuelven el pericarpio. La mayor parte de la cariósipide (fruto de las gramíneas) en endospermo, el cual se compone de almidón casi en totalidad (Robles, 2000).

## Taxonomía del Sorgo

Reino:	Vegetal.
División:	Trachaeophyta.
Subdivisión:	Pteropsidae.
Clase:	Angiospermae.
Subclase:	Monocotiledóneas.
Grupo:	Glumiflorae.
Orden:	Graminales.
Familia:	Graminea.
Subfamilia:	Panicoideae.
Tribu:	andropogoneae.
Genero:	<i>Sorghum.</i>
Especie:	<i>bicolor.</i>

## Ciclo Vegetativo

Es el número de días que una planta necesita para llegar a la cosecha a partir del momento de la siembra, pasando por un determinado número de etapas fenológicas. El ciclo de este cultivo es de 90 a 140 días desde la siembra hasta la madurez fisiológicas según sea la variedad y las condiciones ambientales de la región (Robles, 2000).

## Etapas Fenológicas del Cultivo

El desarrollo de una planta está influenciado por varios factores meteorológicos de los cuales los más importantes son las temperaturas del aire y del suelo y la duración de la luz del día (fotoperiodo). El comienzo y fin de las fases sirve como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de estas plantas. Con base en los datos de observaciones fenológicas precisas, recopilación durante muchos años, es posible definir las regularidades en el crecimiento de una planta en relación con su medio ambiente, así como sus requerimientos con respecto a los factores meteorológicos. ([www.fca.unl.edu.ar/Clima/07- Fenologia.pdf](http://www.fca.unl.edu.ar/Clima/07-Fenologia.pdf)).

## Fase Vegetativa

**Germinación y Desarrollo de la Planta:** Cuando una semilla se coloca en un suelo húmedo, absorbe el agua y se hincha. La germinación ocurre rápidamente si el suelo es caliente (20°C o más). Cuando la semilla se hincha el tegumento se rompe y emerge un pequeño coleóptilo y una raíz prima (radícula). El coleóptilo crece y aparece más raíces primarias que emergen de la superficie del suelo. La planta joven empieza a crecer añadiendo más hojas y el coleóptilo permanece como un tejido en la base de la planta. El mesocotilo crece durante este periodo y se forma un nido en la base del coleóptilo justo debajo de la línea del suelo. La plántula joven utiliza durante este periodo el alimento almacenado en el endospermo al tiempo que las raíces secundarias comienzan a desarrollarse el mesocotilo comienza a morir y el sistema radicular mayor se desarrolla de las raíces secundarias o adventicias. (Capton, 2005).

## Fase Reproductiva

**Desarrollo de la Inflorescencia y Polinización:** La iniciación floral se forma de 30 a 40 días después de la germinación esta se encuentra de 15 a 30 cm. Por

encima de la superficie del suelo cuando las plantas tienen de 50 a 70 cm. De altura. La iniciación floral marca el final del crecimiento vegetativo debida a la actividad meristemática. La formación de la yema floral sigue el periodo mas largo del crecimiento de la planta de sorgo el cual consiste en gran parte en alargamiento de las células. Durante el periodo de alargamiento celular rápido, la iniciación floral se transforma en una inflorescencia. Alrededor de 6 a 10 días antes de la floración se forma la bota como una prominencia en el tejido de la hoja bandera, esto sucede alrededor de los 55 días de la germinación. El sorgo florea normalmente entre los 55 y 70 días en climas templados, pero su floración puede variar entre 30 y más de 100 días. La panícula de sorgo comienza a florecer en la punta y florea sucesivamente hacia abajo en un periodo de 4 a 5 días (Duthil, 2002).

Al tiempo de la floración las glumas se abren y las tres anteras se liberan, mientras que surgen los dos estigmas, cada uno sobre un estilo rígido. La floración ocurre normalmente poco después de la salida del sol. La dehiscencia de las anteras ocurre cuando están secas y el polen se esparce en el aire. El cultivo del sorgo es básicamente de polinización cerrada; esto quiere decir que el polen de una panícula fertiliza la mayoría de los óvulos en la misma panícula. El polen vuela hacia los estigmas, donde germina; el tubo polínico, con dos núcleos, crece hacia abajo a través del estilo para fertilizar el óvulo y formar el núcleo  $2n$  y el endospermo  $3n$  (Robles, 2000).

#### Fase de Maduración

El óvulo comienza a formarse como una esfera verde claro, casi de color crema; después de 10 días empieza a crecer y se vuelve de un verde mas oscuro. Toma alrededor de 30 días para que las semillas alcancen el peso seco máximo. Durante este desarrollo la semilla pasa por tres estadios (Frankel, 2004).

- Lechoso.
- Masoso suave.
- Masoso duro.

Las semillas comienzan a cambiar de color verde al color que tendrá en la madurez. Las semillas contienen alrededor de un 30% de humedad a la madurez fisiológica; se secan entre 10 – 15 % durante los siguientes 10 a 25 días. Durante este periodo pierden hasta el 10% de su peso seco. La semilla esta lista para

cosecharse económicamente en siembras comerciales en diversas regiones agrícolas con las siguientes condiciones (Robles, 2000).

## **El Cultivo de Sorgo.**

Requerimientos Ecológicos y Edáficos.

### Temperatura

Por ser una especie de origen tropical, el sorgo requiere temperaturas altas para su desarrollo normal, siendo por lo tanto más sensible a las temperaturas que otros cultivos. Para una buena germinación, el suelo a 5cm de profundidad, debe tener una temperatura no inferior a los 18°C. Si el suelo estuviese más frío entre 15 y 16°C, tendría una emergencia neta y des uniforme, con plántulas débiles, y rojizas. Durante la floración requiere de una mínima de 16°C, pues por debajo de este nivel se puede producir esterilidad de las espiguillas y afectar la viabilidad del grano de polen (Jiménez, 2009).

### Humedad

Los sorgos se cultivan ampliamente en las zonas tropicales y templadas, pueden desarrollarse en regiones muy áridas. Su mayor capacidad para tolerar la sequía, alcalinidad y las sales, que la mayor parte de las plantas cultivadas, hace de los sorgos un grupo valioso en zonas de escasa humedad o de poca precipitación, es propio cultivar el sorgo en las áreas donde la lluvia es insuficiente para el cultivo del maíz, como en aquellas que tengan una distribución de 400 a 600mm de precipitación media anual (Hughes, 2004).

### Altitud

Por sus altas exigencias de temperatura, raramente se cultiva más allá de los 1800m de altura. Se cultiva favorablemente de 0 a 1000msnm. En México se ha cultivado con éxito a 2200 msnm. En el valle de Toluca que tiene una altitud de 2600 msnm se han hecho pruebas con resultados satisfactorios (Robles, 2000).

## Latitud

El sorgo se puede cultivar entre las latitudes de 45° latitud norte y 35° latitud sur; en el área comprendida entre estas latitudes donde se puede cultivar el sorgo con mayores rendimientos, debido a que más al norte o más al sur las temperaturas son más bajas (Robles, 2000).

## Fotoperiodo

El sorgo se caracteriza por ser de un fotoperiodo corto, lo cual quiere decir que la maduración de la planta se adelanta cuando el periodo luminoso es corto y el obscuro largo. Sin embargo existen diferencias en cuanto a la sensibilidad a la longitud del fotoperiodo; por ejemplo, algunas variedades botánicas como sorgo escobero (var. *Technicum*) son poco sensitivas, en tanto que las variedades *Hegari* y *Milo* son sumamente sensitivas (Hughes, 2004).

## Suelo

Puede cultivarse en una diversidad de suelos pero será mejor en los terrenos ligeros, profundos y ricos en nutrientes los de aluvión son buenos. Los suelos arcillosos, aunque pueden proporcionar buenos rendimientos, tienen el inconveniente de que la sequía hace daño en el sistema radicular al agrietarse el terreno por lo que hay que recurrir al agua de riego en los casos extremos. Se ha encontrado que este cultivo puede sembrarse en terrenos con ciertas proporciones de sales solubles que limita la producción de otros cultivos (Robles, 2000).

## Siembra

En la siembra de sorgo granífero se utilizan todos los sistemas de siembra, desde el convencional hasta la labranza cero. Entre ambos extremos existen distintas labores y combinaciones, que se adaptan a cada región en particular, según tipo de suelo, clima y secuencia de cultivos realizados (Manual sorgo Cargill)

- a) A chorrillo.
- b) La siembra convencional.
- c) En hileras con sembradoras de arroz.
- d) Siembra con labranza reducida.

## Época de Siembra

Las condiciones climatológicas de la región determinan la época de siembra de los cultivos, sin embargo en algunos centros experimentales del INIFAP han determinado las fechas más convenientes para la siembra de esta gramínea (Robles, 2000).

**Cuadro. 1.** Época de siembra para los estados más productores de sorgo en México.

Región	Ciclo	Fecha
TAMAULIPAS	PrimaveraVerano	11 de Feb. Al 18 de Mar.
		No aconsejable después por presentarse problemas de plaga (mosca de la panoja).
GUANAJUATO	PrimaveraVerano	1° al 15 Abr. (para híbridos tardíos)
		1° al 25 de Jun. (al momento del temporal).
MICHOACÁN	PrimaveraVerano	1° de mayo al 10 de Mayo sorgo de temporal.
JALISCO	PrimaveraVerano	De abril a principios de mayo.
COAHUILA	PrimaveraVerano	15 de Marzo al 15 de Abril.
		15 de Junio al 15 de Julio.
SINALOA	PrimaveraVerano	15 de Enero al 28 de Febrero.

**Fuente:** Tomado del Libro Producción de Granos y Forrajes (Robles, 2000).

## Cosecha

Esta labor se debe realizar cuando el grano tenga de 14 a 18 % de humedad, lo que ocurre entre los 105 y 120 días a partir de la fecha de siembra, en función del ciclo vegetativo del híbrido o variedad sembrada. Para ello, se debe bajar el nivel de humedad al 14%. Si se deja secar en pie, mientras la humedad baja del 20 al 14%, se producen pérdidas por diversas causas (Manual de sorgo Cargill). La cosecha de

realiza de diferentes formas dependiendo de la región y el tipo de productor, por ejemplo:

- De forma manual.
- De forma mecánica

### Época de Cosecha

Alrededor de 30 días después de la floración, el grano de sorgo alcanza su madurez fisiológica y forma una capa negra (abscisión) que corta el movimiento de nutrientes y agua de la planta al grano (Robles, 2000).

En este estado el grano tiene entre un 30 y 35% de humedad y continúa perdiéndola durante los 25 a 30 días siguientes, hasta alcanzar una humedad del 20 al 23%, nivel que permite iniciar la cosecha, pero no almacenar el grano. Algunas de las fechas de cosecha de algunas regiones del país son las siguientes:

### **El Sorgo una Alternativa Importante en la Obtención de Biocombustibles**

Los tallos de sorgo dulce pueden almacenar los azúcares solubles la cual puede ser más de 40% del tallo seco. Estos azúcares son principalmente sacarosa (25-30% de peso del tallo seco) y glucosa y fructosa en pequeñas cantidades. En los años 70 fue propuesta la posibilidad de cultivarlo para la producción de bioetanol, como es capaz de producir fácilmente azúcares fermentables si crece en medio ambientes no limitados.

El sorgo dulce es la mejor materia prima alternativa, que puede suplir el uso de la caña de azúcar en la producción del etanol. En 5 600 litros por hectárea por año (sobre dos cosechas, en 70 toneladas por hectárea del tallo por cosecha en 40 litros por tonelada), la producción del etanol de este, se compara bien con los 6 500 litros por la ha por la cosecha para la caña de azúcar (en 85-90 toneladas por hectárea del tallo por cosecha, con 75 litros por tonelada). A partir de las tecnologías el costo de producción del etanol del sorgo dulce está cerca a los 250

euros/t así que es casi competitivo comparado a la producción del etanol de la caña de azúcar a 220 euros/t (Brasil) (Maiti, 1986).

El Sorgo dulce es similar al sorgo grano con un tallo rico en azúcar, casi similar a la caña de azúcar. Además tiene amplia adaptabilidad, rápido crecimiento y alta acumulación de azúcar y producción potencial de biomasa. El sorgo dulce es tolerante a la sequía, inundaciones, salinidad del suelo y toxicidad por acidez. Este tiene un gran potencial para la producción de jaggery, sirope y alcohol (más importante Gasohol, el cual es etanol mezclado con petróleo). El contenido de azúcar en el jugo extraído del sorgo dulce varía de 16-23 % °Brix (Murray *et al.*,2009).

En años recientes ha incrementado el interés en la utilización este producto para la producción de etanol en la India, como su periodo de crecimiento es de alrededor 4 meses y los requerimientos de agua de 8000 m<sup>3</sup> sobre dos cultivos, un cuarto de lo que requiere la caña de azúcar, la cual tiene un periodo de crecimiento de 12- 16 meses y requiere 36 000 m<sup>3</sup> de agua por cultivo, además el sorgo dulce es mejor para la producción mecanizada y la propagación de semilla (Maiti, 1986).

El sorgo produce un volumen de etanol idéntico al maíz. El 10-20% de producción de sorgo dulce de Estados Unidos se utiliza actualmente para la producción de etanol que está aumentando rápidamente (sobre ocho mil millones L/año) de demanda en parte debido a la eliminación de MTBE (éter butílico terciario metílico). Por supuesto y quizás solamente a corto plazo allí tiene ventajas significativas el tener un grano no transgénico(Murray *et al.*,2009).

De acuerdo con los estimados realizados por el Centro Nacional de Investigaciones para el Sorgo (NRCS), el costo de producción por litro de etanol de sorgo dulce es Rs 13.11 (de Rs 500 por t de tallo), cuando se compara con Rs 12.55 (de Rs 1,600 por t de tallo) de mieles de caña. Sin embargo, El incremento del costo de producción de etanol de sorgo dulce es mas que compensado por el rendimiento del grano de 1 ton por ha, el cual se puede usar como alimento y la calidad superior del etanol. La ventaja significativa de la producción de etanol a partir del mismo es que es amistosa con el medio ambiente pues no se usa la ruta de las mieles. El nivel de contaminación basado en la producción de etanol tiene un cuarto de DBO, es

decir 19 500 mg/L y también tiene menos DQO 38 640 mg/L comparado con la ruta de la caña de azúcar.

Los tallos de sorgo dulce contienen azúcares fermentables en la cantidad equivalente a 3741.04- 5611.56 L/ha (400-600 gal /acre) o cerca del doble del maíz. Este cultivo lo usan las comunidades para hacer sirope. La planta usa mucha azúcar para producir el grano, de modo que el rendimiento en azúcar del tallo es relativamente bajo. El sirope del sorgo es extraído de la planta mediante la molida del tallo. El sirope es producido primariamente en los Estados Unidos y es usado para la industria alimentaria como sustituto del azúcar. Investigaciones han evaluado el sorgo como materia prima para la producción de etanol (Maiti, 1986).

### **Sorgo Dulce.**

El sorgo dulce es una materia prima más versátil, tiene una rápida tasa de crecimiento, alto niveles de producción de azúcares fermentables, facilidad de cultivo, adaptación a distintos tipos de suelos y adecuación de su ciclo a la latitud del país. El bagazo puede ser utilizado como fuente de energía, de manera similar que con los procesos de caña de azúcar(Murray *et al.*,2009).

#### Estadística Mundial del Sorgo Dulce

En los últimos 50 años, el área plantada de este cereal por todo el mundo ha aumentado el 60% y el rendimiento en el 244%. El área plantada es actualmente constante en 41 millones de hectáreas con la producción que aumenta a 1,5 toneladas/ha proyectado antes de 2010 y a la producción en 63 millones de toneladas. Una publicación de FAO/ICRISAT sugiere que "el solo cambio tecnológico más importante del cultivo del sorgo dulce desde los años 50 ha sido el desarrollo y el uso de la semilla híbrida." Las estimaciones sugieren que el 51% de la cosecha vaya para la alimentación y el 49% para el alimento y otras aplicaciones. Los usuarios principales actuales de la alimentación son México, los Estados Unidos, Argentina, y Japón(Murray *et al.*,2009).

La India, aunque todavía es el país con el área más grande cultivada de sorgo dulce, cultiva actualmente 10,5 millones de hectáreas comparadas con 16 millones

en 1989. Más del 50% del área está en híbridos pero los rendimientos son solamente el 54% del promedio del mundo. El continente africano produjo el 27% del total del mundo en el período 1992-94 en 21,8 millones de hectáreas, más que mitad del área total del mundo. A partir de 1980-97, el índice de crecimiento anual del área del sorgo dulce era 3,7%, la producción 2,9%, y el rendimiento 0,8%. (<http://www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101>).

### Características del Cultivo del Sorgo Dulce

La característica que favorece al sorgo dulce es que se adaptan únicamente a los extremos ambientales de tensión abiótica que hace esta cosecha el grano lógico para apoyar al mundo por tener el 25% de su población que experimenta escasez severa del agua antes de 2025. Además este cultivo permite un sistema de producción sostenible y económicamente provechoso que reduce el riesgo al mínimo.

### Variedades del Sorgo Dulce

Un híbrido del sorgo dulce Especial/Sweet (SSH) 104 desarrollados por ICSA 38, con un padre macho-estéril del ICRISAT y el SSV 84, un padre masculino criado en la India, se está recomendando para el cultivo comercial. Además de la amplia variabilidad genética disponible en el germoplasma e híbrido en aspectos relacionados con la producción del etanol, como el porcentaje del azúcar, sacarosa y Brix (Murray *et al.*,2009).

### Hábitos de Crecimiento

Este tipo de sorgo es una hierba gruesa cuyos vástagos son erguidos y sólidos, alcanzan una altura de 0,6096 m a 3,6576 m. Las variedades de jarabe son de 1,82 m a 2,7432 m de alto. Los brotes que forman en los nodos se convierten a menudo en ramas. Los brotes que forman cerca de la corona se convierten en granos que producen labradores.

Los labradores desarrollan sus propias raíces pero siguen unidas a la vieja corona. Las cañas o los tallos de algunas variedades y tipos de sorgo dulce son jugosos. Si la médula no es jugosa, el nervio central de la hoja es blanco en color debido a los espacios de aire en los tejidos finos; cuando los espacios de aire se llenan del jugo, el color es más neutral. Debido a esta diferencia, las plantas estarán

en diversas etapas de la madurez en la época óptima para la cosecha para el jarabe. El contenido del azúcar del jugo puede extenderse a partir del 2 hasta el 20%.

El color de la semilla varía entre las variedades del sorgo dulce de blanco al marrón oscuro. El endospermo es blanco, y tiene la misma deficiencia de la vitamina A que el maíz blanco. El tamaño de la semilla varía considerablemente entre las variedades, extendiéndose típicamente a partir del 2172.91 a 4347.83 semillas/kg (1.000 a 2.000 semillas /lb) (Murray *et al.*,2009).

### Requerimientos Ambientales

El sorgo dulce es un cultivo de crecimiento rápido en clima cálido. Estas son mejor adaptadas al calor, suelos fértiles; el frío y los suelos muy húmedos limitan su crecimiento. La planta tolera sequía relativamente bien, aunque responde adecuadamente a la fertilidad y a la humedad del suelo, con un crecimiento más rápido. También tolera períodos cortos de inundación del terreno mejor que maíz. La planta parará el crecer en ausencia del agua adecuada, pero no se marchitará. Comenzará a crecer otra vez cuando las condiciones mejoran(Maiti, 1986).

### Clima

Necesita de un suelo caliente, fértil para su crecimiento óptimo. Se puede sembrar en una amplia gama de tipos de suelo, ya que el sorgo tolera condiciones de sequía, se sugiere sembrar en suelos de textura más gruesa si los requisitos de la fertilidad de la planta se resuelven. También crece bien en suelos de moldeo.

### Preparación y Germinación de la Semilla

La semilla se debe tratar con un fungicida, tal como captan, para controlar putrefacciones de la semilla y que la planta de semillero se marchite. La eficacia del tratamiento de la semilla será reducida si la germinación y la aparición son retrasadas debido al frío y condiciones de humedad del suelo. Una vez que la semilla germine el crecimiento es normalmente lento por dos a tres semanas hasta que las plantas se establecen (Undersander *et al.*, 1990).

## Adaptación

La madurez y tolerancia al frío así como la sensibilidad a los fotoperíodos ha sido crítica para el movimiento de este cultivo desde climas tropicales y subtropicales a climas templados. El sorgo se desarrolla debido a las características fisiológicas favorables relacionadas con la tolerancia al estrés abiótico a la sequía y el calor. El sorgo sucesivamente se adapta a diferentes tipos de suelos y toxicidades tales como: la alcalinidad, acidez y aluminio, agua estancada. La adaptación a sistemas agrícolas de producción de bajas entradas es crítico en Asia y África. En los sistemas agrícolas de países, el sorgo tiene mayor por ciento de áreas de cosecha que otros cultivos al igual que más estabilidad en el rendimiento.

## Tolerancia al Estrés Abiótico

La evolución del sorgo bajo la presión de la sequía y las altas temperaturas incrementa las posibilidades y oportunidades para este cultivo para suplir las necesidades de granos en el mundo (Maunder, 2006).

## Rendimiento Potencial

Fernández, 2006 reportó que el sorgo dulce tiene un potencial de rendimiento de 100 t de biomasa fresca por ha que puede ser desde 87.5 a 115 t de material fresco por ha, o de 29 t de materia seca por ha con valores desde 25.7 a 34.9 t de materia seca por ha.

En general se necesitan alrededor de 30.28 L (8 gal) de jugo para producir 3.785 L 1 gal de sirope de miel. Un rendimiento realista de sirope es de 701.445 a 748. 208 L/ha(75-80 gal/acre) para un buen cultivo de sorgo (Undersander *et al.*, 1990).

## Beneficios y Usos

Sorgo dulce (*Sorgo bicolor*) es similar al grano sorgo con un tallo rico en azúcar, casi similar a la caña de azúcar. Además tiene amplia adaptabilidad, rápido crecimiento y alta acumulación de azúcar y producción potencial de biomasa. El sorgo dulce es tolerante a la sequía, inundaciones, salinidad del suelo y toxicidad por acidez. Este tiene un gran potencial para la producción de jaggery, sirope y alcohol

(más importante gasohol, el cual es etanol mezclado con petróleo). El contenido de azúcar en el jugo extraído del sorgo dulce varía de 16-23 % Brix (Murray *et al.*, 2009).

En años recientes se ha incrementado el interés en la utilización este cultivo para la producción de etanol en la India, como su periodo de crecimiento es de alrededor 4 meses y los requerimientos de agua de 8000 m<sup>3</sup> sobre dos cultivos, que  $\frac{1}{4}$  de la caña de azúcar, la cual tiene un periodo de crecimiento de 12- 16 meses y requiere 36 000 m<sup>3</sup> de agua por cultivo. El sorgo dulce es mejor para la producción mecanizada y la propagación de semilla.

El sirope del sorgo es extraído de la planta mediante la molienda del tallo. El sirope es producido primariamente en los Estados Unidos y es utilizado para la industria alimentaria como sustituto del azúcar. Investigaciones han evaluado el sorgo como materia prima para la producción de etanol. El grano del sorgo dulce se puede utilizar como alimentación para las aves de corral y el ganado. (Undersander *et al.*, 1990).

El sorgo produce un volumen de etanol idéntico al maíz. El 10-20% de producción de sorgo dulce de Estados Unidos se utiliza actualmente para la producción de etanol que está aumentando rápidamente (sobre ocho mil millones L/año) de demanda en parte, debido a la eliminación de MTBE (éter butílico terciario metílico) por lo anterior el sorgo pueda tener a corto plazo ventajas significativas el hecho de no tener transgénico (Maunder, 2006).

#### Sorgo para la Producción de Alcohol

Acorde con un estudio piloto, el sorgo dulce es la mayor material prima alternativa que puede suplementar el uso de la caña de azúcar en la producción de etanol. La producción etanol de este se compara bien con la caña de azúcar, pues se producen 5600 L por ha (sobre dos cultivos, de 70 t por ha de tallo molido por cultivo a 40 L por t); para el cultivo de la caña de azúcar se producen 6,500 L por ha por cultivo (de 85-90 t por ha de caña molida por cultivo a 75 L por t).

De acuerdo con los estimados realizados por el Centro Nacional de Investigaciones para el Sorgo (NRCS), el costo de producción por litro de etanol de

sorgo dulce es Rs 13.11 (de Rs 500 por t de tallo), cuando se compara con Rs 12.55 (de Rs 1,600 por t de tallo) de mieles de caña. Sin embargo, El incremento del costo de producción de etanol de sorgo dulce es mas que compensado por el rendimiento del grano de 1t por ha (el cual se puede usar como alimento y la calidad superior del etanol).

La ventaja significativa de la producción de etanol a partir de este cultivo es que es amistosa con el medio ambiente pues no se usa la ruta de las mieles. El nivel de contaminación basado en la producción de etanol tiene  $\frac{1}{4}$  de DBO, es decir 19 500 mg/L y también tiene menos DQO 38 640 mg/L comparado con la ruta de la caña de azúcar (ICRISAT, 2004).

Los tallos de sorgo dulce pueden almacenar los azúcares solubles los cual puede ser más de 40% del tallo seco. Estos azúcares son principalmente sacarosa (25-30% de peso del tallo seco), glucosa y fructosa en pequeñas cantidades. En los años 70, fue propuesta la posibilidad de cultivarlo para la producción de bioetanol, gracias a su capacidad de producir fácilmente azúcares fermentables y la posibilidad de crecer en medios ambientes limitados. (Fernández, 2006).

#### Ventajas del Sorgo Dulce

- También conocido como zahínas de azúcar
- Puede ser cultivado para producir etanol, azúcar, jaggery, sirope y silage.
- Se considera una fuente importante de etanol en Estados Unidos, Brasil. China, Australia y Sud África.
- Sus tallos son dulces y jugosos.
- Se pueden obtener altos rendimientos en biomasa y azúcares fermentables.
- Puede ser cosechado entre 90 y 120 días.
- Requiere menos agua y fertilizantes.
- Posee una amplia adaptación.

El uso del sorgo dulce en la producción de etanol puede ser la alternativa más viable en nuestro país, debido además de lo mencionado anteriormente a;

- Su capacidad de desarrollo y adaptabilidad a condiciones de estrés lo que permitiría que fuera utilizado en la mayor parte de nuestro país o bien en áreas donde otros cultivos no prosperan.
- Contrariamente al maíz, la utilización de sorgo dulce para producir combustible tiene un impacto mínimo sobre el mercado alimentario mundial porque tiene escasa demanda.
- Sería un cultivo que no provocaría problemas del orden alimentario como el provocado por el maíz en los Estados Unidos, ya que se pueden generar a través del mejoramiento genético variedades o híbridos de doble propósito con altos contenidos de azúcar y buena producción de grano, el cual primeramente podría ser cosechado y posteriormente utilizar el resto de la planta en la obtención de etanol.
- Otra ventaja importante sería sus costos de producción los cuales se consideran relativamente bajos.
- Fácil manejo.
- Por último la cercanía de nuestro país con los Estados Unidos uno de los mercados potenciales más importantes. ([www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml](http://www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml))

### Balance de Energía en el Sorgo Dulce

De acuerdo con Fernández, 2006 menciona, que para calcular el balance de energía del cultivo de sorgo, el consumo de energía de las labores y tareas requeridas, incluye el consumo humano, entradas de energía, así como, la energía consumida durante su proceso de producción. Se usa el bagazo para la producción de electricidad y vapor para el proceso en la destilería, el promedio del balance de energía puede ser calculado teniendo en cuenta los siguientes datos (HCV: Valor calórico superior):

- Promedio de producción de azúcar:  $12 \text{ t/ha} \times 4,000 \text{ Mcal (HCV)/t} = 48,000 \text{ Mcal/ha}$   
o  $200,928 \text{ MJ/ha}$ .

- Promedio de producción de bagazo:  $19.5 \text{ t/ha} \times 3,500 \text{ Mcal (HCV)/t} = 68,250 \text{ Mcal/ha}$   
o  $285,695 \text{ MJ/ha}$

- Promedio de producción total:  $48,000 + 68,250 = 116,250$  Mcal/ha or 486,622 MJ/ha
- Rendimiento de producción de etanol = 2 kg de azúcar/l de etanol
- Energía obtenida del etanol =  $6,050 \text{ l/ha} \times 5,400 \text{ kcal/l} = 32,670$  Mcal/ha o 136,757 MJ/ha
- Consumo de energía la transformación de azúcar en etanol, en términos de energía primaria = 34,364 Mcal/ha (143.848 MJ/ha), la cual puede ser provista completamente por el bagazo.
- Consumo total de energía consumida en irrigación por regadera: 9,487.1 Mcal/ha or 39,713 MJ/ha.
- Consumo total de energía en irrigación superficial: 5,353.1 Mcal/ha or 22,408 MJ/ha.

De modo que el balance de energía del sorgo dulce debe de ser:

- En el caso de irrigación por regadera:  $32,670/9,487.1 = 3.4$
- En el caso de irrigación superficial:  $32,670/5,353.1 = 6.1$

Con relación costo promedio del cultivo, fue establecido que para el rendimiento de 12 t de azúcar por ha ha:

- Cuando la irrigación por regadera: 1,355 ECU/ha o 0.208 ECU/l de etanol
- Cuando la irrigación es superficial: 1,241 ECU/ha or 0.205 ECU/l de etanol

[www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml](http://www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml)

## **Procesos Productivos.**

### Proceso de Obtención de Biodiesel

La producción de aceites vegetales es posible a partir de más de 300 especies diferentes de oleaginosas. Las condiciones edafo climática, el rendimiento, el contenido de aceite y la necesidad de mecanizar la producción, limita actualmente el potencial de obtención de aceites vegetales a un poco especies, como el girasol, la soja entre otras([Http://es.wikipedia.org/wiki/biodiesel](http://es.wikipedia.org/wiki/biodiesel)).

El biodiesel es un combustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como los aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación.

En síntesis, el biodiesel se produce a partir de los ácidos grasos derivados de aceites que pueden ser de origen vegetal o animal, los cuales pueden ser sometidos a varios procesos, pero el más utilizado es la transesterificación.

Surge de una reacción química entre un material graso (aceite vegetal y/o animal) y un alcohol (generalmente metanol o etanol). Aunque teóricamente se puede utilizar cualquier alcohol para su fabricación, el producto obtenido tendrá propiedades diferentes según el alcohol empleado, y a su vez las características del proceso de fabricación serán distintas. Generalmente el metanol se elige sobre el etanol, debido a su menor costo. ([Http://es.wikipedia.org/wiki/biodiesel](http://es.wikipedia.org/wiki/biodiesel))

En la transesterificación se produce una reacción de las tres cadenas de ácido grasos (cadenas ésteres) de cada molécula de triglicérido, con un alcohol, produciéndose la separación de estas cadenas de la molécula de glicerina. Por lo tanto, consiste en convertir los triglicéridos en ésteres de metilo o etilo, para lo cual se produce una reacción en los aceites mediante el uso de un alcohol, que puede ser metanol o etanol, y un catalizador, que puede ser hidróxido de sodio o hidróxido de potasio.

Luego se exalta la sustancia resultante, quedando el biodiesel en la parte superior y glicerina en la parte inferior. Esta separación necesita temperatura y un potente catalizador básico (un hidróxido) para que la reacción sea completa.

Finalmente, las cadenas ésteres se convertirán en biodiesel, reteniendo moléculas de oxígeno en su constitución, lo que le otorgará interesantes propiedades en la combustión. Además estas cadenas no contienen azufre, el cuál es considerado un potente contaminante medio ambiental. Por otro lado, la glicerina, luego de su purificación puede ser utilizada, en múltiples usos. ([Http://es.wikipedia.org/wiki/biodiesel](http://es.wikipedia.org/wiki/biodiesel))

El biodiesel puede elaborarse mediante la transesterificación la cual consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización. Las tecnologías existentes, pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la

alimentación del mismo. La elección de la tecnología será en función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador. En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación (utilización al mismo tiempo de aceites refinados y reutilizados) suelen utilizar procesos Batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme.

#### Proceso Discontinuo.

Es el método más simple para la producción de biodiesel donde se han reportado rangos 4:1 (alcohol: triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas. El catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH). Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción (Fernández, 2006).

Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y relaciones superiores de alcohol: aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora.

#### Proceso Continuo

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuos Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción. Un elemento esencial en el diseño de los reactores CSTR es asegurarse que la mezcla se realiza

convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster.

Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie. El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión en este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina (Fernández, 2006).

Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con superácidos que a su vez presenten una elevada velocidad de reacción de transesterificación, lo que implica que se requiera de dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua. De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%. Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiesel puesto que es un subproducto del proceso.

#### Proceso de Obtención de Etanol

El etanol es el alcohol etílico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales (cereales, caña de azúcar, remolacha o biomasa) combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Dependiendo de su fuente de obtención, su producción implica fundamentalmente el proceso de separación de las azúcares, y la fermentación y destilación de las mismas (Fernández, 2006).

Al obtener los azúcares, a partir de un proceso de fermentación o destilación se obtiene el Etanol hidratado. Para llegar al Etanol carburante (anhidro), se hace un proceso de deshidratación.

En general, se utiliza tres familias de productos para obtención de alcohol:

- Azúcares, procedentes de la caña o la remolacha.
- Cereales, mediante la fermentación de los azúcares del almidón
- Biomasa, por la fermentación de los azúcares contenidos en la celulosa y hemicelulosa.

Para producir etanol de granos de maíz es necesario convertir los almidones del grano en azúcares, lo que se consigue por medio de enzimas. Los azúcares resultantes se fermentan, procesos mediante el cual se obtiene el etanol.

En el caso de la caña de azúcar, el proceso es un poco mas simple, pues no se requiere de enzimas, ya que aproximadamente el 20% de la caña ya es azúcar. La caña se empieza a fermentar desde que es cortada, pero para obtener etanol se le debe someter a un proceso de fermentación realizado en los ingenios.

El esquema general de fabricación del bioetanol, muestra las siguientes fases en el proceso:

- 1) Dilución: es la adición del agua para ajustar la cantidad de azúcares en la mezcla o, en última instancia, la cantidad de alcohol en el proceso de fermentación puede morir debido a una concentración demasiado grande de alcohol.
- 2) Conversión: la conversión es el proceso de convertir el almidón /celulosa en azúcares fermentables. Puede ser lograda por el uso de la malta, extracto de enzimas contenidas en la malta, o por el tratamiento del almidón (o de la celulosa) con el ácido en un proceso de hidrólisis ácida.
- 3) Fermentación: la fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, básicamente. De la fermentación alcohólica se obtiene un gran número de productos, entre ellos el alcohol.

- 4) Destilación o Deshidratación: la destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla (etanol/agua). Una forma de destilación, conocida desde la antigüedad, es la obtención de alcohol aplicando calor a una mezcla fermentada.

El método mas antiguo para separar el etanol del agua es la destilación simple, pero la pureza está limitado a un 95 -96% debido a la formación de un azeótropo de agua/etanol de bajo punto ebullición. En el transcurso de la destilación hay que desechar la primera fracción que contiene principalmente metanol, formado en reacciones secundarias (Fernández, 2006).

Para poder utilizar el etanol como combustible mezclándolo con gasolina (anhidro), hay que eliminar el agua hasta alcanzar una pureza del 99,5 al 99%. El valor exacto depende de la temperatura, que determina cuándo ocurre la separación entre las fases agua e hidrocarburos.

Para obtener etanol libre de agua se aplica la destilación azeotrópica en la mezcla con benceno o ciclohexano. De estas mezclas se destila a temperatura más baja el azeótropo, formado por el disolvente auxiliar con el agua, mientras que en el etanol se queda retenido. Otro método de purificación muy utilizado actualmente es la absorción física mediante tamices moleculares.

## Fermentación

Desde la antigüedad se obtiene el etanol por fermentación anaeróbica de azúcares con levadura en solución acuosa y posterior destilación. La aplicación principal tradicional ha sido la producción de bebidas alcohólicas. Hoy en día se utilizan varios tipos de materias primas para la producción a gran escala de etanol de origen biológico (*bioetanol*):

- Sustancias con alto contenido de sacarosa
  - Caña de azúcar
  - Remolacha
  - Melazas
  - Sorgo dulce
- Sustancias con alto contenido de almidón

- Maíz
- Patata
- Yuca
- Sustancias con alto contenido de celulosa
  - Madera
  - Residuos agrícolas

El proceso a partir de almidón es más complejo que a partir de sacarosa, pues el almidón debe ser hidrolizado previamente para convertirlo en azúcares. Para ello se mezcla el vegetal triturado con agua y con una enzima (o en su lugar con ácido), y se calienta la papilla obtenida a 120 - 150°C. Posteriormente se cuela la masa, en un proceso llamado escarificación, y se envía a los reactores de fermentación (Barnett, 2003).

A partir de celulosa es aun más complejo, ya que primero hay que pre-tratar la materia vegetal para que la celulosa pueda ser luego atacada por las enzimas hidrolizantes. El pre-tratamiento puede consistir en una combinación de trituración, pirolisis y ataque con ácidos y otras sustancias. Esto es uno de los factores que explican por qué los rendimientos en etanol son altos para la caña de azúcar, mediocres para el maíz y bajos para la madera (Barnett, 2003).

La fermentación de los azúcares es llevada a cabo por microorganismos (levaduras o bacterias) y produce etanol, así como grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Además produce otros compuestos oxigenados indeseables como el metanol, alcoholes superiores, ácidos y aldehídos. Típicamente la fermentación requiere unas 48 horas. (Barnett, 2003).

#### Purificación.

El método más antiguo para separar el etanol del agua es la destilación simple, pero la pureza está limitada a un 95-96% debido a la formación de un azeótropo de agua-etanol de bajo punto de ebullición. En el transcurso de la destilación hay que desechar la primera fracción que contiene principalmente metanol, formado en reacciones secundarias. Aún hoy, éste es el único método admitido para obtener etanol para el consumo humano (Barnett, 2003).

Para poder utilizar el etanol como combustible mezclándolo con gasolina, hay que eliminar el agua hasta alcanzar una pureza del 99,5 al 99,9%. El valor exacto depende de la temperatura, que determina cuándo ocurre la separación entre las fases agua e hidrocarburos.

Para obtener etanol libre de agua se aplica la destilación azeotrópica en una mezcla con benceno o ciclohexano. De estas mezclas se destila a temperaturas más bajas el azeótropo, formado por el disolvente auxiliar con el agua, mientras que el etanol se queda retenido. Otro método de purificación muy utilizado actualmente es la adsorción física mediante tamices moleculares. A escala de laboratorio, también se pueden utilizar desecantes como el magnesio, que reacciona con el agua formando hidrogeno y oxido de magnesio (Barnett, 2003).

### Síntesis Química

El etanol para uso industrial se suele sintetizar mediante hidratación catalítica del etileno con ácido sulfúrico como catalizador. El etileno suele provenir del etano (un componente del gas natural) o de nafta (un derivado del petróleo). Tras la síntesis se obtiene una mezcla de etanol y agua que posteriormente hay que purificar mediante alguno de los procesos descritos más arriba. Según algunas fuentes, este proceso es más barato que la fermentación tradicional, pero en la actualidad representa sólo un 5% de la capacidad mundial de producción de etanol.

### **La Biomasa Lignocelulósica Como Materia Prima para la Producción de Etanol.**

Una gran parte de los materiales con alto contenido de celulosa, susceptibles de ser utilizados como materia prima para la producción de etanol combustible se generan como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial. Los residuos agrícolas proceden de los cultivos leñosos y herbáceos y entre ellos hay que destacar los producidos en los cultivos de cereal y en algunos otros cultivos con utilidad industrial textil y oleícola.

La biomasa de origen forestal proviene de los tratamientos silvícolas y de mejora y mantenimiento de los montes y masas forestales. La biomasa de origen industrial son los generados en las industrias, como la papelera, y la fracción orgánica de los residuos sólidos industriales. Muchos de estos residuos no sólo tienen un valor económico en el contexto en el que se generan, sino que suelen provocar problemas ambientales durante su eliminación.

La biomasa lignocelulósica presenta una estructura compleja compuesta de tres fracciones que deben ser procesadas por separado para asegurar una conversión eficiente de este tipo de materiales a etanol. La fracción mayoritaria de esta biomasa es la celulosa cristalina. La celulosa está compuesta de cadenas largas de moléculas de D-glucosa unidas por enlaces beta(1-4) que, a su vez, se agrupan en estructuras superiores de gran cristalinidad, lo que dificulta su hidrólisis y conversión a azúcares fermentables. Sin embargo, una vez se producen los azúcares simples, pueden fermentarse sin dificultad. La celulosa puede ser hidrolizada a etanol mediante procesos ácidos o enzimáticos.

La segunda fracción es la hemicelulosa, formada por polímeros de azúcares de cinco átomos de carbono (principalmente xilosa). Esta fracción es fácilmente hidrolizable ya que no presenta estructura cristalina; sin embargo, la xilosa es un azúcar difícil de fermentar a etanol. La última fracción es lignina, polímero tridimensional de unidades de fenilpropano ligadas por enlaces éster y C-C.

Los procesos de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica que utilizan catalizadores ácidos permiten, en condiciones adecuadas de presión y temperatura, una solubilización de la hemicelulosa y la celulosa, quedando prácticamente inalterada la lignina. A temperaturas superiores a los 200°C aparecen productos de descomposición de los azúcares, por lo que no pueden obtenerse rendimientos muy altos. Además, estas sustancias son inhibitoras del proceso fermentativo por lo que deben eliminarse del hidrolizado antes de realizar la fermentación.

Los métodos industriales de hidrólisis ácida de la fracción celulósica se agrupan en dos tipos: los que emplean ácidos concentrados y bajas temperaturas y los que utilizan ácidos diluidos a temperaturas más altas. A pesar de los altos

rendimientos de hidrólisis que se obtienen con los procesos que utilizan ácidos concentrados, no existe ninguna planta industrial operando con este sistema, por su falta de rentabilidad. Entre los procesos de hidrólisis de celulosa utilizando ácidos diluidos, el más utilizado es el método de percolación, en el que el ácido se hace pasar a través del material ([www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml](http://www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml))

Los problemas mencionados en los procesos ácidos se evitan si se utiliza en el proceso una hidrólisis enzimática. Para ello, es necesario realizar un pretratamiento de la biomasa lignocelulósica que altere la compleja estructura de este tipo de materiales, facilitando así la acción de los enzimas celulolíticos. La dificultad está en la cristalinidad de las moléculas de celulosa, y la naturaleza de su asociación con la lignina, constituyen una verdadera barrera física a la penetración de los enzimas.

### **Proceso de Obtención de Etanol a partir de Biomasa Lignocelulósica Utilizando Levaduras Termotolerantes.**

Por medio de investigaciones realizadas se desarrolló una cepa de la especie *Kluyveromyces marxianus*, la cual se obtuvo mediante mutagénesis química y posterior selección, y es capaz de fermentar la glucosa, procedente de la hidrólisis de la celulosa, con buenos rendimientos.

El proceso permite realizar la hidrólisis y la fermentación a 42°C, temperatura cercana al óptimo del complejo celulolítico, obteniéndose buenos rendimientos (cerca del 70% del teórico). El tiempo de residencia está en torno a las 72 horas, lo que supone una reducción importante frente a otras tecnologías (Querollet *et al.*, 2003).

Esta tecnología consiste en un proceso discontinuo para la obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica, que comprende el pretratamiento, mediante explosión a vapor, y la sacarificación de la celulosa y fermentación simultánea de la glucosa generada en el proceso de hidrólisis.

Mediante este proceso pueden transformarse en etanol materias primas que contienen predominantemente celulosa tales como, residuos forestales y agrícolas, pasta de papel, biomasa de cultivos lignocelulósicos y la fracción orgánica de los residuos domésticos (Querolet *al.*,2003).

- Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica mediante explosión a vapor:

El primer paso consiste en la reducción del tamaño de las partículas de biomasa antes de someterlas al pretratamiento. Durante el tratamiento térmico con vapor se produce la formación de una masa lignocelulósica húmeda. Como la temperatura es lo suficientemente elevada para forzar termodinámicamente la disociación del agua líquida, se crea un medio ácido que supera las barreras energéticas de la hidrólisis y se produce una auto-hidrólisis que rompe el polímero de la hielulosa. A la vez, y debido que la difusión de la fase vapor es de mayor magnitud que la difusión de la fase líquida, el vapor de agua se introduce dentro de la estructura de la fibra de lignocelulosa. Primero, se produce penetración del vapor y luego su condensación. Al despresurizarse el material, se produce una evaporación súbita del agua capilar, que tiene el efecto mecánico de desagregar y romper algunas fibras. Una vez finalizada la etapa de pretratamiento se recoge el material y se filtra separando la fracción líquida de la sólida (Querolet *al.*,2003).

- Proceso de sacarificación y fermentación simultaneas (SFS):

Tras el filtrado, la fracción sólida se introduce en el fermentador y se diluye hasta alcanzar una relación sólido/líquido, dependiendo del material. Luego se añade un complejo celulolítico comercial en una concentración de 15 Unidades de Papel de Filtro (UPF) por gramo de celulosa y 12.6 Unidades Internacionales por gramo de celulosa de enzima beta-glucosidasa, ambas resuspendidas en el tampón citrato pH 4.8 (Querolet *al.*,2003).

### **Productos de Obtención.**

El etanol se obtiene de plantas ricas en azúcar (principalmente la caña de azúcar de la que se obtiene la melaza que es la principal materia prima azucarada para la producción de etanol) y granos ricos en almidón. Entre los cereales, el maíz, arroz, trigo y cebada son las materias primas más comunes para la producción de

etanol. Existe una sobreproducción mundial de grano por lo que la disponibilidad de materia prima no es problema en la actualidad

Otros cultivos que se están investigando para la producción de etanol combustible son la patata y el sorgo azucarero. Estos productos aparte de su menor costo de producción, serían rentables para la producción de etanol ya que se podrían emplear los tallos secos (patata) o el bagazo (sorgo) para la producción del vapor y la electricidad necesaria en el proceso de obtención de etanol.

En la actualidad tres países han desarrollado programas significativos para la fabricación de bioetanol como combustible: Estados Unidos (a partir de maíz), Brasil y Colombia (ambos a partir de caña de azúcar). El etanol se puede producir a partir de otros tipos de cultivos, como remolachas, zahina, mijo perenne, cebada, cáñamo, kenaf, patatas, mandioca y girasol. También puede extraerse de múltiples tipos de celulosa "no útil". Esta producción a gran escala de alcohol agrícola para utilizarlo como combustible requiere importantes cantidades de tierra cultivable con agua y suelos fértiles ([www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml](http://www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml))

Se pueden obtener cantidades más reducidas de alcohol combustible de los tallos, de elementos reciclados, de la paja, de las mazorcas de maíz, y de productos sobrantes de las granjas que ahora se utilizan para hacer piensos, fertilizantes, o que se utilizan como combustibles de plantas de energía eléctrica. De hecho, EEUU podría conseguir todo el etanol que necesita usando una mezcla de, por ejemplo, los tallos (parte no aprovechada) del maíz y de la planta de maíz, sin roturar más tierras de labrantío (sin embargo, habría que cultivar más tierra para substituir ese material, usado por muchos granjeros como fuente barata, confiable y limpia de piensos o fertilizantes).

### **Balance de Energía.**

Para que el etanol contribuya perceptiblemente a las necesidades de combustible para el transporte, necesitaría tener un balance energético neto o *Tasa de retorno energético* positivo. Para evaluar la energía neta del etanol hay que considerar la cantidad de energía contenida en el producto final (etanol), frente a la

cantidad de energía consumida para hacer el etanol (como por ejemplo el diesel usado en tractores). También hay que comparar la calidad del etanol frente a la gasolina refinada, así como la energía consumida indirectamente (por ejemplo, para hacer la planta de proceso de etanol). Aunque es un asunto que crea discusión, algunas investigaciones sugieren que el proceso para crear una unidad de energía mediante etanol toma igual o mayor cantidad de energía proveniente combustibles fósiles (diesel, gas natural y carbón). Es decir: la energía necesaria para mover los tractores, para producir el fertilizante, para procesar el etanol, y la energía asociada al desgaste en todo el equipo usado en el proceso (conocido en economía como amortización del activo) puede ser mayor que la energía derivada del etanol al quemarse. Se suelen citar dos defectos de esta argumentación como respuesta:

(1) No se hace caso de la calidad de la energía, cuyos efectos económicos son importantes. Los efectos económicos principales de la comparación son los costos de la limpieza de contaminación del suelo, que provienen de derrames de gasolina al ambiente, y costos médicos de la contaminación atmosférica, resultado del refinado y de la gasolina quemada.

(2) La inclusión del costo de desarrollo de los complejos manufactureros de etanol inculca un prejuicio contra ese producto, basado en la preexistencia de las plantas de refinado de la gasolina.

La decisión final se deberá fundamentar sobre razonamientos económicos y sociales a largo plazo. El primer argumento, sin embargo, sigue debatiéndose. No tiene sentido obtener 1 litro de etanol si para ello se requiere quemar 2 litros de gasolina (o de etanol).

La mayor parte de la discusión científica actual a la hora de evaluar el balance energético tanto del etanol como de las demás fuentes de energía se centra en dónde establecer los límites del cómputo, es decir, cuán completo y exhaustivo debe ser el esquema de gastos e ingresos de energía derivados de la fabricación del etanol (Jackson, 1991).

Se discute, por ejemplo, si se deben incluir temas como la energía requerida para alimentar a la gente que cuida y procesa el maíz, o para levantar y reparar las cercas de la granja, incluso la cantidad de energía que consume un tractor. Además, no hay acuerdo en qué clase de valor dar para el resto del maíz (como el tallo por ejemplo), lo que se conoce comúnmente como coproducto. Algunos estudios propugnan que es mejor dejarlo en el campo para proteger el suelo contra la erosión y para agregar materia orgánica. Mientras que otros queman el coproducto para accionar la planta del etanol, pero no evitan la erosión del suelo que resulta (lo cual requeriría más energía en forma de fertilizante). Dependiendo del estudio, la energía neta varía de 0,7 a 1,5 unidades de etanol por unidad de energía de combustible fósil consumida.

En comparación, si el combustible fósil utilizado para extraer etanol se hubiese utilizado para extraer petróleo y gas, se hubiesen obtenido 15 unidades energéticas de gasolina; un orden de magnitud mayor. Pero la extracción no es igual que la producción: cada litro de petróleo extraído es un litro de petróleo agotado. Para comparar el balance energético de la producción de la gasolina a la producción de etanol, debe calcularse también la energía requerida para producir el petróleo de la atmósfera y para meterlo nuevamente dentro de la tierra; un proceso que haría que la eficiencia de la producción de la gasolina fuese fraccionaria comparada a la del etanol. Se calcula que se necesita un balance energético de 200%, (2 unidades de etanol por unidad de combustible fósil invertida), antes de que la producción en masa de etanol llegue a ser económicamente factible (Jackson, 1991).

## **Efectos Ambientales.**

### **Contaminación del Aire**

El etanol es una fuente de combustible que arde formando dióxido de carbono y agua, como la gasolina sin plomo convencional. Para cumplir la normativa de emisiones se requiere la adición de oxígeno para reducir emisiones del monóxido de carbono. El aditivo metil tert-butil éter actualmente se está eliminando debido a la contaminación del agua subterránea, por lo tanto el etanol se convierte en un atractivo aditivo alternativo. Como aditivo de la gasolina, el etanol al ser más volátil, se lleva consigo gasolina, lanzando así más compuestos orgánicos volátiles (VOCs Volatil Organic Compounds).

El uso de etanol puro en lugar de gasolina en un vehículo aumenta las emisiones totales del dióxido de carbono, por cada kilómetro, en un 6%. Si de algún modo se reduce la emisión total, pudiera deberse al proceso agrícola que se necesita para crear el biocombustible que produce ciertas emisiones del CO<sup>2</sup>.

Considerando el potencial del etanol para reducir la contaminación, es igualmente importante considerar el potencial de contaminación del medio ambiente que provenga de la fabricación del etanol. En 2002, la supervisión de las plantas del etanol reveló que lanzaron VOCs en una tasa mucho más alta que la que se había divulgado anteriormente. Se producen VOCs cuando el puré fermentado de maíz se seca para venderlo como suplemento para la alimentación del ganado. Se pueden unir a las plantas oxidantes termales u oxidantes catalíticos para consumir los gases peligrosos.

#### Efectos del Etanol en la Agricultura

Los ecologistas han presentado algunas objeciones a muchas prácticas agrícolas modernas, incluyendo algunas utilizadas para la elaboración de bioetanol más competitivo. Los efectos sobre los campos afectarían negativamente a la producción para consumo alimentario de la población (Jackson, 1991).

#### Recurso Renovable

El etanol puede convertirse en una opción interesante a medida que la humanidad se acerque al fin de otras fuentes como el petróleo o el gas natural. Pero para ser considerado un recurso, el balance energético debe ser positivo. En los debates aún abiertos, sus detractores advierten del uso de pesticidas y fertilizantes, aun cuando la cantidad de pesticidas utilizados varía mucho dependiendo de si el maíz va dirigido a las personas o a los motores, siendo la primera opción en la que se hace un uso más intenso de éstos.

#### Plomo

En el pasado, cuando los granjeros destilaban su propio etanol, utilizaban a veces los radiadores como parte del alambique. Los radiadores contenían a menudo plomo, que contaminaba el etanol. El plomo pasaba al aire al quemarse el

combustible contaminado, generando problemas de salud (saturnismo). Sin embargo ésta era una fuente de plomo menos importante que el tetraetilo de plomo que se empleaba como aditivo corriente de la gasolina, como antidetonante (hoy prohibido en la mayoría de los países). Hoy día, el etanol para uso como combustible se produce casi exclusivamente en plantas construidas ad-hoc, evitando así cualquier remanente de plomo.

El impacto ambiental y las consecuencias sociales de su previsible producción y comercialización masiva del biodiesel, especialmente en los países en vías de desarrollo o del Tercer Mundo generan aumento de la deforestación de bosques nativos, expansión indiscriminada de la frontera agrícola, desplazamiento de cultivos alimentarios y ganadería, destrucción del ecosistema y la biodiversidad, desplazamiento de trabajadores rurales (Jackson,1991).

Se ha propuesto en los últimos tiempos denominarlo *agrodiésel* ya que el prefijo «bio» a menudo es asociado erróneamente con algo ecológico y respetuoso con el medio ambiente. Sin embargo, algunas marcas de productos del petróleo ya denominan agrodiésel al *gasóleo agrícola* o *gasóleo B*, empleado en maquinaria agrícola.

### **Principales Ventajas y Desventajas de la Utilización de Biodiesel.**

#### Ambientales

El biodiesel es biodegradable por naturaleza (aunque los aditivos pueden reducir su biodegradabilidad), a diferencia de diesel fósil. El biodiesel se degrada de 4 a 5 veces más rápido y puede ser usado como solvente para limpiar derrames de combustibles fósiles (ANCAP, 2001).

El biodiesel no contamina fuentes de agua superficial ni acuíferos subterráneos. Una avería en la cadena productiva no conduce a efectos desastrosos en el medio ambiente. Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.

Prácticamente no contiene azufre, por lo que genera  $SO_2$  (dióxido de azufre), un gas que contribuye en forma significativa a la contaminación ambiental. Su combustión genera menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales. Las emisiones de todos los contaminantes principales (con la excepción de los óxidos de nitrógeno, son claramente más bajas en comparación con el diesel.

El ciclo biológico en la producción y el uso del biodiesel reduce aproximadamente en un 80% las emisiones de anhídrido carbónico. Debido a la reducción en las emisiones contaminantes, ayudaría a mitigar el efecto invernadero.

### Energéticas

Se considera una fuente de energía renovable y limpia que puede permitir una reducción de la dependencia de fuentes no renovables de energía, como el petróleo, carbón y el gas natural (ANCAP, 2001).

### Económicas

El uso masivo del biodiesel permite que el transporte pueda estimular un desarrollo agrícola alternativo, ya que demandaría un producto de mayor valor agregado.

El biodiesel permite al productor agrícola autoabastecerse de combustible. Su producción promueve la inclusión social de los habitantes menos favorecidos del sector rural, debido a que no requiere altos niveles de inversión.

Mayor eficiencia productiva, ya que se podría utilizar los excedentes de la población agrícola y el resto de los residuos orgánicos (ANCAP, 2001).

Menores necesidades de importación de petróleo, mejorando de esa manera el saldo de la balanza comercial y ocasionando por lo tanto un ahorro de divisas.

Creación de nuevos puestos de trabajo a lo largo de toda la cadena de producción de biodiesel.

Los beneficios ambientales también podrán generar ventajas económicas a través de los acuerdos establecidos en el protocolo de Kioto, con sus Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), los cuáles permitirán comercializar cuotas de carbón, mediante el Fondo Prototipo de Carbono (PCF), para la reducción de emisores de gases contaminantes en el mundo.

### **Otras Ventajas de su Utilización.**

El biodiesel tiene mayor lubricidad que el diesel de origen fósil, por lo que se extiende la vida útil de los motores (ANCAP, 2001).

Es el único combustible alternativo que funciona en cualquier motor diesel convencional, sin ser necesaria ninguna modificación significativa.

Es más seguro de transportar, almacenar y manipular, ya que tiene un punto de inflamación significativamente más que el diesel.

Por su poder de solvente, el biodiesel produce la limpieza de los tanques usados por el diesel de petróleo.

### **Principales Desventajas**

El biodiesel de baja calidad (con bajo número de cetano) puede incrementar las emisiones de óxidos de nitrógeno, pero si el número de cetano es mayor que 68, las emisiones de óxido de nitrógeno serían iguales o menores que las provenientes del diesel fósil (ANCAP, 2001).

Los costos de la materia prima son elevados y guardan relación con el precio internacional del petróleo. Dicho costos representan el 70% de los costos totales del biodiesel, por lo que este actualmente es un producto relativamente costoso.

El biodiesel presenta problemas de fluidez y congelamiento a bajas temperaturas ( $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), especialmente el que se produce de palma africana.

Por su alto poder solvente, se recomienda almacenar el biodiesel en tanques limpios; si esto no se hace, los motores podrían ser contaminados con impurezas provenientes de los tanques.

El contenido energético del biodiesel es algo menor que el del diesel (12% menor en peso), por lo que su consumo es ligeramente mayor.

La mayor viscosidad de biodiesel en relación al diesel, puede causar problemas en la inyección del combustible.

### **Principales Ventajas y Desventajas de la Utilización de Etanol.**

#### Principales Ventajas

##### Ambientales

El etanol, al ser un oxigenante de las gasolinas, mejora su octanaje de manera considerable, lo que contribuye a la reducción de la contaminación y a reducir los gases causantes del efecto invernadero (ANCAP, 2001).

Al ser un aditivo oxigenante, el etanol también reemplaza a aditivos nocivos para la salud humana, como el plomo el cual a causado el incremento del porcentaje de personas afectadas por cáncer y la disminución de capacidades mentales, especialmente el plomo en niños.

##### Energéticas y Económicas.

Al ser renovable y producido localmente, el etanol permite disminuir la dependencia del petróleo, lo que mejora la seguridad energética de los países. Esto es aún más importante para los países no productores de petróleo, dado que la

mayoría de este se encuentra en zonas de alta inestabilidad política, como el Medio Oriente, y que la tendencia de los precios es continuar aumentando o manteniéndose elevados (ANCAP, 2001).

Aumenta el valor de los productores agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los habitantes rurales y, por ello, elevando su nivel de vida

El etanol actúa como un anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío y previniendo el congelamiento.

El octanaje del etanol puro es de 113 y se quema mejor a altas compresiones que la gasolina, por lo que da más poder a los motores.

#### Principales Desventajas

El etanol se consume de un 25% a un 30% más rápidamente que la gasolina; para ser competitivo debe tener un menor precio (ANCAP, 2001).

Cuando es producido a partir de la caña de azúcar, en muchos lugares se continúa con la práctica de quemar la caña antes de la cosecha, lo que libera grandes cantidades de metano y óxido nítrico, dos gases que agravan el calentamiento global. Esto se solucionaría mecanizando el proceso de cosecha, pero disminuirá el empleo rural, a pesar de las críticas que se han hecho a las condiciones de este.

Cuando el etanol es producido a partir de maíz, en su proceso de elaboración se está utilizando gas natural o carbón para producir vapor y en el proceso de cultivo se usan fertilizantes nitrogenados, herbicidas de origen fósil y maquinaria agrícola pesada. Esto podría solucionarse mediante el uso de sistemas de producción agrícola orgánicos o por lo menos ecológicos. También se puede utilizar el CO<sub>2</sub> proveniente de las destilerías para la producción de algas (que a su vez se pueden usar el metano del estiércol para producir vapor (en esencia este equivale a usar biogás para producir biocombustible) (ANCAP, 2001).

## **Biocombustibles de Segunda Generación.**

Son combustibles producidos a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias, para lo cual se utilizan tecnologías que todavía están en etapas de investigación y desarrollo y con costos de producción aún muy elevados. Existe optimismo de que los combustibles de segunda generación serán una alternativa muy efectiva para remplazar a los combustibles fósiles sin utilizar cultivos alimenticios y ayudarán a combatir un problema, como es el calentamiento global (Vermerriset *al.*,2007).

El etanol se puede producir a partir de celulosa. El proceso consiste en convertir la celulosa, que puede provenir de pastos perennes, restos de cosecha, tallos de maíz, bagazo de caña, arboles de rápido crecimiento, residuos orgánicos municipales y de casi cualquier otro material orgánico, en azúcares, para lo cual se utilizan enzimas de alta tecnología y se fermentan los azúcares, de lo cual resulta el etanol (Vermerriset *al.*,2007).

### **Producción.**

En 2006 la producción mundial total de etanol en todos sus grados fue de 51,06 mil millones de litros (13,49 mil millones de galones internacionales). Los dos principales productores mundiales son Estados Unidos y Brasil, que juntos producen el 70% del total de etanol, seguidos por China, India y Francia. Incentivos del mercado han provocado el desarrollo de crecientes industrias en países como Tailandia, Filipinas, Guatemala, Colombia y República Dominicana. En Europa, tanto como han incrementado considerablemente su producción de etanol. El siguiente cuadro muestra la producción de etanol entre 2004 y 2006 para los quince mayores productores mundiales (Vermerris *et al.*,2007).

**Cuadro 2.** Producción anual de etanol por país (2004-2006)

Países Productores				
(Millones de galones internacionales)				
Clasificación	País	2006	2005	2004
1	Estados Unidos	4855	4264	3535
2	Brasil	4491	4227	3989
3	China	1017	1004	964
4	India	502	449	462
5	Francia	251	240	219
6	Alemania	202	114	71
7	Rusia	171	198	198
8	Canadá	153	61	61
9	España	122	93	79
10	Sudáfrica	102	103	110
11	Tailandia	93	79	74
12	Reino Unido	74	92	106
13	Ucrania	71	65	66
14	Polonia	66	58	53
15	Arabia Saudita	52	32	79

Fuente (Maiti, 1986).

### Estados Unidos

Estados Unidos es el mayor productor mundial de etanol, con 4,86 mil millones de galones líquidos producidos en 2006, seguido por Brasil con una producción de 4,49 mil millones de galones. EE.UU. junto con Brasil destila 70% de la producción mundial de etanol, y en 2007 produjeron el 88% del etanol utilizado como combustible en el mundo. Casi la totalidad del etanol estadounidense es producido a partir de maíz, que es menos eficiente que el etanol producido a partir de caña de azúcar. Además, en 2007 un 25% de la producción nacional de maíz fue desviada para producir etanol como combustible, lo que ha sido criticado y considerado como uno de los factores que influyeron en la crisis alimentaria mundial de 2007 a 2008, cambiando alimentos por combustibles (Maiti, 1986).

Otra crítica del uso del etanol en los Estados Unidos es su disponibilidad. Apenas 600 gasolineras, de un total de 200.000, tienen surtidores E85. Para

solucionar esta deficiencia habría que seguir una estrategia amplia para la adopción de surtidores para que la disponibilidad fuese satisfactoria. Otro aspecto de su disponibilidad es que actualmente sólo está disponible en el medio oeste (relativamente poco poblado), donde se refina el etanol. Al 27 de abril de 2006, en EE.UU. hay una capacidad productiva de 4.485,9 millones de galones (unos 17 millones de m<sup>3</sup>) al año, y se construye para aumentarla en 2.229,5 millones de galones por año más (unos 8,4 millones de m<sup>3</sup>). Estados Unidos importa etanol producido a partir de caña de azúcar de Brasil y de cuatro países de la Cuenca del Caribe: Jamaica, El Salvador, Trinidad y Tobago y Costa Rica (Maiti, 1986).

En los Estados Unidos la caña de azúcar es cultivada en los estados de Florida, Louisiana, Hawái, y Texas, que cuentan con el clima tropical adecuado para dicho cultivo. Las primeras tres plantas destiladoras de etanol producido a partir de caña de azúcar en los Estados Unidos entrarán en funcionamiento en Louisiana a mediados de 2009. Plantas productoras de azúcar en Lacassine, St James y Bunkie fueron convertidas usando tecnología e inversión colombiana para destilar etanol a partir de caña de azúcar. Se espera que estas tres plantas produzcan en forma rentable 378 millones de litros (100 millones de galones) de etanol en un plazo de cinco años.

## Brasil

Para el 2007, Brasil es el segundo mayor productor de etanol como combustible del mundo. Desde hace más de treinta años Brasil ha desarrollado una extensa industria doméstica del etanol como combustible a partir de la producción y la refinación de la caña de azúcar. Brasil produce aproximadamente 15 millones de m<sup>3</sup> de etanol por año. Las fábricas del etanol en el Brasil mantienen un balance energético positivo (entre 8,3 a 10,2 veces), al quemar la parte que no produce azúcar de la caña.

Desde 2003, la mayoría de los automóviles nuevos traen incorporada la tecnología de motor bivalente, popularmente denominados "*flex*" en Brasil, la cual permite a los usuarios mezclar cualquier proporción de etanol y gasolina en el tanque, decisión que depende de los precios de mercado de cada combustible. Para agosto de 2008, la flota de vehículos de combustible flexible alcanzó 6 millones de

vehículos, incluyendo automóviles y vehículos comerciales ligeros, representando un 23% de la flota de vehículos ligeros de Brasil (Maiti, 1986).

El éxito de los vehículos "flex", en conjunto con el uso obligatorio a nivel nacional de 25% de alcohol mezclado con gasolina convencional (gasohol E25) para los vehículos de motor a gasolina, permitieron que el consumo de etanol superase el consumo de gasolina a partir de febrero de 2008. Este nivel de consumo de etanol como combustible no había sido alcanzado desde el final de la década de los ochenta, cuando el Programa *Pró-Álcool* estaba en su mayor auge. Al considerar el consumo total de combustible de toda la flota (incluyendo los vehículos con motor diesel), el consumo de etanol destilado de la caña de azúcar en 2006 fue del 18% del consumo total de combustible del sector vial (Maiti, 1986).

Para algunos, Brasil es considerado como la primera economía que logró un uso sostenible del etanol, y el modelo a seguir por otros países. Comparado con el etanol producido en Estados Unidos con base en el maíz, la productividad del insumo energético en Brasil es ocho veces mayor que la estadounidense, y la productividad por hectárea es casi el doble: mientras en Estados Unidos se producen entre 3.800 a 4.000 litros de etanol por hectárea plantada de maíz, en Brasil se producen entre 6.800 y 8.000 litros por hectárea plantada de caña de azúcar. En 2006 Brasil destinó solo 1% de su área cultivable para producir el etanol, mientras que Estados Unidos destinó un 3,7% del total de tierras cultivables. Las áreas donde se cultiva la caña de azúcar se concentran en el estado de Sao Paulo, a poco más de 2.500 km de la selva amazónica.

## Colombia

El programa para etanol como combustible de Colombia comenzó en 2002, año en que el gobierno aprobó una ley que obligaba al enriquecimiento en oxígeno de la gasolina. Esto se hizo inicialmente para reducir las emisiones de monóxido de carbono de los coches. Regulaciones más recientes eximieron al etanol elaborado a partir de biomasa de algunos impuestos que gravan la gasolina, haciendo así más barato el etanol que la gasolina. Esta tendencia se vio reforzada cuando los precios del petróleo subieron a principios de 2004, y con él el interés en combustibles renovables (al menos para los coches). En Colombia el precio de la gasolina y del

etanol es controlado por el gobierno. Complementariamente a este programa para el etanol, existe un programa para el biodiesel, para oxigenar combustible diesel, y para producir un combustible renovable a partir del aceite vegetal (Maiti, 1986).

Al principio todo el interés en la producción del etanol vino de la industria de azúcar existente, ya que es relativamente fácil añadir un módulo para desarrollar etanol al final de una fábrica de azúcar, y las necesidades energéticas son similares a las que se necesitarían para producir el azúcar. El gobierno alienta a convertir gradualmente las fuentes de combustible de los coches a una mezcla del 10 por ciento de etanol y de 90 por ciento de gasolina. Las plantas del etanol están siendo incentivadas por tratados fiscales. Ha habido interés en plantas de etanol de yuca (mandioca) y de nuevas plantaciones de la caña de azúcar, pero aún no se ha conseguido producir carbohidratos a bajo precio.

La primera planta de etanol para uso como combustible en Colombia comenzó a producir en octubre de 2005, con la salida de 300.000 litros al día en Cauca. Hasta marzo de 2006 cinco plantas, todas en el valle del Río Cauca (departamentos de Valle, Cauca y Risaralda), están operativas, con una capacidad combinada de 1.050.000 litros por día, o de 357 millones de litros por año. En el Valle del Cauca el azúcar se cosecha durante todo el año, y las destilerías nuevas tienen una disponibilidad muy alta. La inversión total en estas plantas es de 100 millones de USD. Eventualmente, Colombia espera tener una capacidad de 2.500.000 litros por el día, que es la cantidad necesaria para agregar el 10% de etanol a la gasolina. El etanol producido se utiliza actualmente en las principales ciudades cerca del Valle del Cauca, tales como Cali y Pereira, como también en la capital, Bogotá. No hay suficiente producción para el resto del país.

El 31 marzo de 2009 el gobierno colombiano decretó la introducción paulatina de vehículos de combustible flexible E85. La regulación aplica a todos los vehículos con motor a gasolina con cilindrada inferior a 2 litros que se fabriquen, ensamblen, importen, distribuyan y comercialicen en el país a partir del 1 de enero de 2012. El decreto ejecutivo establece que el 60% de tales vehículos deberán tener motores "flex-fuel" capaces de operar con gasolina o E85, o cualquier mezcla de ambos. En 2014 la provisión anual sube para 80% y alcanza el 100% en 2016. Todos los vehículos con cilindrada superior a 2 litros deberán soportar E85 a partir de 2013. El decreto también ordena que en 2011 la infraestructura de la cadena de distribución y venta al consumidor de gasolina deberá adaptarse para garantizar la venta de E85

en todo el país. La introducción obligatoria de los vehículos flex-fuel E85 causó controversia entre los fabricantes y vendedores de autos, así como de algunos productores que reclamaron que la industria no está en capacidad de suplir suficiente etanol para la nueva flota E85. En decreto anterior de 2007 lo que estaba previsto para 2012 era la introducción de gasohol E20.

## Europa

El continente europeo ha sido tradicionalmente más proclive a los coches pequeños y eficientes, al contrario que en los EE.UU. donde los coches son de mayor cilindrada y el consumo de petróleo ha sido un tema secundario hasta hace bien poco. Esta tendencia de los europeos no se ha visto reflejada sin embargo a la hora del desarrollo de nuevos combustibles como el etanol, interesante en una región como Europa, con mucha superficie agrícola (y por lo tanto desechos aprovechables) y una escasa disponibilidad de petróleo. Esto está cambiando en los últimos años, ya que las empresas de automóviles europeas comienzan a desarrollar nuevos modelos optimizados para el mejor aprovechamiento del combustible vegetal en cuestión. Un ejemplo es el motor BioPower, desarrollado por la empresa sueca de automóviles Saab. En Europa, en 2006, Francia ocupó el primer lugar en producción de etanol, seguida de Alemania y España (Maiti, 1986).

## Venezuela

Solo como aditivo para la gasolina sin plomo (aquella preparada sin la adición de Tetraetilo de Plomo) llamada comúnmente gasolina verde, actualmente Venezuela importa el Etanol de Brasil, sin embargo se están construyendo plantas de obtención de Etanol a partir de la caña de azúcar y el maíz; para no depender de las importaciones desde Brasil (Maiti, 1986).

### **Biocombustibles en México.**

Expertos en asuntos de bioenergéticos y energía renovable reunidos en la Primera Reunión Internacional del Foro de Bioenergéticos de Chiapas, declararon, el comienzo de la jubilación del petróleo en México, y el arranque de una nueva era, la de automotores con base en biodiesel y bioetanol. Los especialistas analizaron la perspectiva en México, que tendrá como punto de arranque Chiapas, donde ya se

construyen varias plantas para producir biodiesel y bioetanol, con base en caña de azúcar, maíz o piñón(FAO, 2008).

Se discutió sobre la posibilidad de que la tierra en México dejé de producir comida, pues es más rentable generar bioenergéticos, de que es menester un mayor involucramiento del Estado, de políticas públicas efectivas que den paso a una nueva etapa hacia el consumo de bioenergía.

Uno de los ponentes fue André Eckermann, miembro de una empresa paraestatal germana con presencia mundial. Destacó la escasez y auge de precios de combustibles fósiles, la inseguridad del suministro de energía, el reto del cambio climático, las oportunidades de desarrollo para el Tercer Mundo, en particular en áreas rurales.

En los aspectos económicos y sociales, avizora una tendencia que contribuye a la diversificación del suministro y a la estabilidad de precios, reduciendo los riesgos asociados con la alta dependencia de pocos países productores de petróleo, varios de ellos en regiones políticamente inestables (FAO, 2008).

Observa además en los bioenergéticos un posible ahorro de divisas por reducción de importaciones y abatimiento de gastos en subsidios; por ejemplo, refiere, entre 1976 y 2004 Brasil ahorró 60.7 millones de dólares en divisas. Habrá también nuevos mercados para algunos países en vías de desarrollo por importaciones de países de alto consumo de combustibles.

En el aspecto del comercio internacional, detecta que habrá una importación muy marcada de los países del norte a los del sur, debido a que éstos tienen mejores condiciones climáticas, mayor disponibilidad de tierras, mano de obra barata para una producción más eficiente y menos costosa de los biocombustibles, por ejemplo, costos de transporte relativamente bajos.

Pero se pregunta si esto podría ser un nuevo futuro para comunidades rurales, y responde que la producción a gran escala elevará precios de productos agrícolas, el incremento de ingresos para agricultores; habrá, eso sí, productos básicos más caros para los pobres y muchos de esos pobres son campesinos.

Omar Masera, presidente de la Red Mexicana de Bioenergía, también estuvo en Chiapas en este foro internacional. Habló de la bioenergía como catalizador del desarrollo rural sustentable en México, y reseñó los retos en el país para el uso masivo de la bioenergía: de la necesidad de minimizar la competencia con otros usos del suelo; evitar la competencia con cultivos para alimentos; de sortear la deforestación para el establecimiento de cultivos bioenergéticos; de la necesidad de asegurar un índice energético positivo, así como de la mitigación de los gases de 'efecto invernadero' (GEI).

El también director del Laboratorio de Bioenergía del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, puso énfasis en la necesidad del uso de residuos y sistemas híbridos en primera instancia; de buscar que las ganancias se distribuyan socialmente.

De la urgente necesidad de que el gobierno cree programas basados en esquemas financieros viables a largo plazo, de buscar el uso de las tecnologías más eficientes, pero sobre todo de trabajar en conjunto con otras fuentes renovables para asegurar la transición energética.

Masera sostiene que en materia de bioenergía en México, existe un alto potencial del recurso desaprovechado, y que el país podría llegar a ahorrar millones de dólares en importación de gasolina al año si empieza a mezclar la que consume con 10 y hasta 20% de etanol (FAO, 2008).

Para el científico, el campo mexicano puede producir "energía verde" y no sólo alimentos. Apunta que es necesario crear en México una estrategia integrada que incluya al biodiesel, etanol, leña, biogás y residuos agrícolas, además que se requiere invertir en desarrollo científico-tecnológico y que hace falta un marco regulatorio, metas claras, incentivos e inversión en infraestructura y leyes específicas.

Masera pone énfasis también en evitar que los suelos de México compitan con la producción de bioenergéticos y la producción de alimentos: Primero se debe garantizar la comida. Se debe evitar, explicó, la competencia con producción de

alimentos vía diversificación de cultivos y uso extenso de residuos, buscar balance geográfico y beneficios a distintos actores.

### **¿Chiapas a la Vanguardia?**

En Chiapas el gobierno del Lic. Juan Sabines creó la Comisión de Bioenergéticos en diciembre pasado, y a pocos meses ya se tienen avances para señalar que desde el sureste mexicano podría venir el repunte de los biocombustibles. Rafael Arellanes Caballero, titular de esa comisión, dijo que en Chiapas ya hay una planta, en el ejido Jacinto Tirado, municipio de Cintalapa; una más en construcción se ubica en el ejido Jiquilpan, municipio de Huehuetán; la otra, en el municipio de Villacorzo. Estas forman parte de la empresa Tecnasur SA, del empresario duranguense Luis Sarabia.

Menciona que la empresa de Cintalapa ya está construida, y sólo se está a la espera de la materia prima para procesarla, por lo que ya se capacita a los campesinos de la región en la siembra y cosecha del piñón.

Adelanta que no se pretende ni se fomentará tirar bosques o selva, cambiar las tierras que se utilizan en cultivos de alimentos para sembrar la materia prima de los biocombustibles.

Aseguró que Chiapas cuenta con cerca de un millón de hectáreas de tierras ociosas, que ya no son aptas para la siembra de maíz o frijol, pero por su situación semiárida sí son potencial en la siembra de piñón. Explicó que con sembrar unas 500 mil hectáreas, Chiapas tendría la capacidad de proveer 10% de biodiesel que se consuma en el país.

Menciono que muchas empresas extranjeras ya empiezan a poner sus ojos en Chiapas, algunas de España, Argentina y Estados Unidos, aun cuando se carece de un marco regulatorio, pero que por ello ya se hace presión para que se legisle a escala nacional y local sobre los bioenergéticos.([www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables](http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables))

## **Perspectivas Generales.**

El etanol que proviene de los campos de cosechas (bioetanol) está sujeto a una fuerte polémica: para unos se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo en contraposición a los combustibles fósiles, mientras que para otros es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos, al suplantar selvas y terrenos agrícolas para su producción, dudando además de su rentabilidad energética (Jackson, 1991).

Para que los biocombustibles de origen agrícola sean una alternativa energética real se necesita que estos productos, no sólo presenten las características equivalente a las de origen fósil, sino también que, en el conjunto de los procesos de obtención, se consigan balances energéticos positivos y que lleguen al mercado con un costo similar al de los productos derivados del petróleo a los que sustituyen. Sin embargo, los actuales métodos de producción de bioetanol utilizan una cantidad significativa de energía en comparación con la energía obtenida del combustible producido. Por esta razón, no es posible sustituir enteramente el consumo actual de combustibles fósiles por bioetanol.

El principal inconveniente con el que se enfrenta la comercialización de los biocombustibles en el sector del transporte es su alto costo de fabricación. En la actualidad su utilización solo es viable si se aplican, al menos hasta que se creen las condiciones propias para la inversión, sistemas de ayudas, como las del tipo fiscal, que reducen el tipo de impuesto especial aplicable a los biocombustibles de origen agrícola (Jackson, 1991).

Los productos agrícolas, tales como el azúcar, los cereales y las semillas oleaginosas, que en la actualidad son las materias primas para la obtención de los biocombustibles para automoción, se producen principalmente para el sector alimentario, y sólo se utilizan en algunos países secundariamente en el sector energético. Por lo tanto, todavía no existe mucha información sobre estos productos agrícolas como productores de energía. Igualmente, estas materias primas tienen sus precios ligados a mercados no directamente relacionados con el mercado de los combustibles de automoción, y estos otros mercados siguen y seguirán gobernando sus precios.

Para mejorar la competitividad del bioetanol frente a los productos derivados del petróleo se deben reducir los costos de las materias primas, ya que éstas suponen el 60-70% del costo final del etanol, introducir mejoras en los cultivos y determinar los cultivos más rentables y adecuados para la producción de bioetanol.

El alto precio del petróleo, los temores sobre la seguridad energética y el calentamiento global han contribuido para que hoy la producción de biocombustibles sea considerada como la fiebre del oro de este siglo. De hecho, sólo para este año se proyectan inversiones en energías alternativas por u\$s63.000 millones en todo el mundo, según New Energy Finance, una empresa de investigación energética con sede en Londres (Jackson, 1991).

Sin embargo, muchos analistas locales y extranjeros, compañías energéticas, gobiernos y grupos ambientalistas han comenzado a encender luces de alerta sobre el proceso de inversiones que envuelve al mercado de las energías alternativas.

En el caso de la producción de energías alternativas del petróleo, un alerta pasa por el veloz crecimiento del negocio. Los expertos advierten que la carrera por construir plantas de biocombustibles generará una sobrecapacidad que, tarde o temprano, derivará en un proceso de depuración como el que ocurrió con las puntocom.

También ponen en duda que haya suficiente capacidad de cultivo de cereales, oleaginosas y azúcares para que el negocio pueda ser rentable cuando también será necesario atender la mayor demanda de alimentos que se registrará en los próximos diez años.

Desafortunadamente, la gran apuesta en biocombustibles de Latinoamérica, por ejemplo, difícilmente aportará dividendos para cualquiera que inyecte capital. Entonces, para favorecer el desarrollo de biocombustibles se debe estimular la demanda de estos fluidos, actuar en provecho del medio ambiente, ampliar el suministro de materias primas, potenciar las oportunidades comerciales, apoyar a los países en desarrollo y fomentar la investigación y la innovación en esa materia.

A diferencia del petróleo, extraído de unos yacimientos no existentes en todas las regiones, casi cualquier país con suficiente terreno en su territorio (y siempre y cuando esté dispuesto a importar la comida del exterior), puede producir etanol para su uso como combustible.

El etanol es pues una alternativa interesante, que puede incluso ayudar a mitigar las tensiones internacionales derivadas de la dependencia y adicción de algunos países por el petróleo, si bien esto dependerá del balance energético o de la

Tasa de retorno energético (TRE), y no tanto del económico. El cultivo y procesado de agro-combustibles se realiza actualmente con petróleo, tanto por el uso de agroquímicos como de maquinaria, por lo que en el mejor de los casos (si el TRE resulta ser positivo), el proceso equivaldrá a un aumento del rendimiento energético del petróleo. Actualmente sin embargo, según muchos estudios, el ciclo de vida completo (incorporando por ejemplo la energía necesaria para producir y reparar la maquinaria agrícola, y la usada en el proceso de destilación y fermentación) el balance es negativo, es decir: consume más energía fósil que la renovable que produce. La deforestación y la disminución de tierra cultivada para alimentación (con la subsiguiente aparición del hambre) son otros de los grandes problemas que plantea el etanol (Jackson, 1991).

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

ANCAP, (2001). Biocombustibles, una necesidad mas que una alternativa. Uruguay (Ed) biocombustibles No 5 Uruguay.

Barnett J. (2003). *The fermentation pathway*. Yeast. 20: 509-543.

Capton I.P.(2005). Agronomía del Sorgo. ED. Trillas. México.

Cubero, J.I. (2003). Introducción a la mejora Vegetal. Segunda Edición. Editorial Mundi-prensa. España. Pag.: 101-136,209-223.

Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. 2009. Financiera rural (En línea) Disponible en:  
Hptt://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Sorgo.pdf.

D.J. Undersander et al., Sorghum for syrup, Alternatives Field Crop Manual, 1990.

Duthil, J.2002. Producción Forrajes. Ed. Mundi Piensa, Madrid España.

FAO 2008 El estado Mundial de la Agricultura y alimentación Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. No 15. Roma. Italia.

FAO. 1995. El sorgo y el mijo en la nutrición humana: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. FAO (ed) Alimentación Nutrición No 27. Roma. Italia. rural (En línea) Disponible [www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Sorgo.pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Sorgo.pdf).

Fernández J, Outlooks of sweet sorghum crop for ethanol production in Spain based on verietal results in multilocal trials, 2006. En línea 23/mayo/2012 <http://www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101>, 2006

Frankel A.M. 2004. Conservación de Forrajes en México. Ed. Albatros.

- Galarza, M.J.M.; P.U. Miramontes, M.J. Castillo y V.M.A Rebolledo. 2003. Situación actual y perspectiva de la producción de sorgo en México. Servicios de información y estadística agroalimentaria y pesquera (siap.) SAGARPA.
- Gerardo H.2008 Agro energía y Sustentabilidad en América Latina. Consulta en línea (disponible) 13 /marzo/2012 [www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Sorgo.pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Sorgo.pdf)
- Hughes, H.D. 2004. Forrajes. Ed. Continental, México
- ICRISAT, ICRISAT develops sweet sorghum for ethanol production 2004 (en línea) <http://www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101, 2006>
- Jackson, A.T. (1991), *Process Engineering in Biotechnology*, Editorial P. Hall EE.UU., Capítulo II P. 28-41
- Jiménez, M.A, 2009. “La producción de forraje en México”, Taller, U.A. Chapingo, México. Pp. 100.
- Maiti R. (1986). Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo. Facultad agronomía de la universidad de nuevo león.
- Maunder B., Sorghum: 2006 The global Grain of the future . Consulta en línea (disponible) 23 /mayo/2012 [www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101, 2006](http://www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101, 2006)
- Murray, S.C., Rooney, W.L., Hamblit, M.T., Mitchel, S.E., Kresovich, S., 2009. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for brix and Height.The plant genome. Vol 2 N° 1:48-62
- Pinguelli Rosa, L. Kahn Ribeiro, S. 2001. The present, past, and future Contributions to global warming of CO2 emissions from fuels.Contributions to global warming of CO2 emissions from fuels.Kluver Academic Publishers.293 p
- Querol A., Fernández M. Barrio E. (2003). *Adaptative evolution of wine yeast*.Int. J. Food Microbiol. 86: 3-10.
- Robles.S.R 2000. Producción de granos y forrajes. Cuarta Ed. Editorial Limusa. México, INIFAP foundation produce.

Taylor, P. Eley, L. Martin, S. Tuffin, I. Burton, G. Cowan, A. s.f. thermophilic ethanol genesis: future prospects for second-generation bioethanol production. Trends in Biotechnology. 27: 300

Vermerris, W. Saballos, A. Ejeta, G. Mosier, S. Ladisch, R. Carpita, C. 2007. Molecular breeding to enhance ethanol production from corn and sorghum stover. International Plant Breeding Symposium. 12 p.

## **CONSULTAS WEB**

Consulta en línea (disponible) el 20/febrero/2012

[www.agrobit.com/info\\_tecnica/agricultura/sorgo/AG\\_00000sg.htm](http://www.agrobit.com/info_tecnica/agricultura/sorgo/AG_00000sg.htm)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible>

<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>

Consulta en línea (disponible) 21/febrero/2012

[www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)

Consulta en línea (disponible) 28/febrero/2012

[www.fca.unl.edu.ar/Clima/07- Fenologia.pdf](http://www.fca.unl.edu.ar/Clima/07-Fenologia.pdf)).

Wikipedia articulo Biodiesel

Consulta en línea (disponible) 15/marzo/2012

Wikipedia- Articulo Biomasa <http://es.wikipedia.org/wiki/biomasa>

Wikipedia articulo Etanol Combustible:

Consulta en línea (disponible) 15/marzo/2012

Wikipedia- Articulo Biomasa <http://es.wikipedia.org/wiki/biomasa>

<http://www.monografias.com/trabajos51/sorgo-dulce/sorgo-dulce.shtml>