SENER

“Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México”

SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México

(Proyectos ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME y
PN 04.2148.7-001.00)

Noviembre 2006

Noviembre 2006

Realizado por:
Omar Masera Cerutti (Coordinador de los Consultores), Nicolás Rodríguez Martínez (Etanol y Biodiesel), Ignacio Lazcano Martínez (Etanol y Biodiesel), Luiz Augusto Horta Nogueira (Etanol), Isaias C. Macedo (Etanol), Sergio C. Trindade (Etanol y Coordinador de los Consultores Internacionales de Etanol), Daniela Thrän (Biodiesel), Oliver Probst (Biodiesel), Michael Weber (Biodiesel), Franziska Müller-Langer (Biodiesel)

Solicitado por:
Secretaría de Energía (SENER), Subsecretaría de Planeación Energético y Desarrollo Tecnológico, Dirección General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente

Financiado por:
Banco Interamericano de Desarrollo (BID), ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME, y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH – Cooperación técnica alemana, PN 04.2148.7-001.00

Sener/ BID/ GTZ (Edit.): Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, México, D.F., México, Noviembre 2006

ISBN 970-9983-14-8

Este documento ha sido preparado a solicitud de la Secretaría de Energía (Sener), por encargo y financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (cooperación técnica alemana), y fue elaborado por consultores externos. Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de Sener, BID y GTZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.

SENER- Secretaría de Energía

Dirección General de
Investigación, Desarrollo
Tecnológico y Medio Ambiente
Av. Insurgentes Sur 890, 3° piso
Col. Del Valle 03100
México, D.F.
Tel. +52-55-5000 6000 ext. 1023
Fax. +52-55-5000 6223
www.energia.gob.mx

Inter-American Development Bank

Av. Horacio 1855, piso 6
Los Morales-Polanco
11510 México, D.F.
Tel: + 52-55-91386200
www.iadb.org

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
Cooperación técnica alemana

Promoción de Energías Renovables
Dr. Bernhard Boesl
Lic. André Eckermann
Edificio Secretaría de Energía
Insurgentes Sur 890, 9° piso
Colonia Del Valle
03100 México, D.F., México
Tel. +52-55-5000 6000 ext. 1088
Fax. +52-55-5000 6000 ext. 2160
E-mail: bernhard.boesl@gtz.de,
andre.eckermann@gtz.de
www.gtz.de/mexico

Index

1 Executive Summary

1.1 Introduction

1.2 Bioethanol

1.3 Biodiesel

2 Background

Task 1: Economic overview

Task 2 & Task A: Mexico's energy picture with regard to bioethanol and biodiesel

Task 3: Overview of agricultural aspects

3 Bioethanol in Mexico

Task 4: Ethanol feedstocks

Task 5: Ethanol and ETBE production and end-use in Mexico

Task 6: Potentials in relation to sustainability criteria

Task 7: Rationales, drivers and barriers for fuel ethanol and ETBE market introduction

Task 8: Synthesis and recommendations

4 Biodiesel in Mexico

Task B: Agricultural aspects and sources for biodiesel production

Task C: Biodiesel production and end-use in Mexico: current and future (Scenario Building)

Task D: Potentials in relation to sustainability criteria

Task E: Rationales, drivers and barriers for biodiesel market introduction

Task F: Synthesis and recommendations

5 Advisory Board Sessions

1 Executive Summary

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

1.1 Introduction

Este reporte contiene un estudio exhaustivo sobre las posibilidades del bioetanol y el biodiesel como combustibles para el transporte en México. El estudio fue coordinado por la Secretaría de Energía de México (SENER) y patrocinado por el Banco Interamericano de Desarrollo (Proyecto ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME) y la GTZ (Cooperación Técnica Alemana) (Proyecto PN 04.2148.7-001.00) por encargo del Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Para la realización de las diferentes actividades de este estudio se contrató un grupo de consultores mexicanos e internacionales.[1]

El grupo de consultores técnicos trabajó en estrecho contacto con un Comité Consultivo constituido para este estudio. Dicho Comité estuvo formado por representantes de distintos sectores económicos y sociales relacionados con los biocombustibles (campesinos cañeros y de otro tipo, industria automotriz, Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera-CNIAA, Cámara Nacional de la Industria de Transformación-CANACINTRA, Petróleos Mexicanos-PEMEX, Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales-SEMARNAT, Secretaría de Economía, Secretaría de Energía-SENER, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México-FIRA, Red Mexicana de Bioenergía-REMBIO, Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas, Universidades y otros). Durante el estudio se tuvieron tres reuniones de trabajo que permitieron orientar y retroalimentar el trabajo de los consultores para adecuarlo a las prioridades y características de México.

A continuación se presentan los principales resultados del estudio para cada uno de los combustibles analizados: bioetanol y biodiesel. Aunque existen aspectos comunes a estos combustibles, la problemática y las opciones tecnológicas y de política son muy específicas a cada uno de ellos, lo que amerita un análisis individual. Los informes detallados de cada una de estas actividades tanto para etanol como para biodiesel se encuentran en el documento final del proyecto (“Reporte final”).

1.2 Bioethanol

Existe una oportunidad importante para que México emprenda la producción de etanol a gran escala, si bien deben superarse varios retos que se analizan con detalle en el informe.

Para la conversión a etanol fueron considerados como insumos: caña de azúcar, maíz, yuca, sorgo y remolacha azucarera, con las tecnologías maduras existentes y, en el caso de la caña de azúcar, se analizó la producción de etanol a partir del bagazo, cuya tecnología se encuentra en desarollo. Con base en criterios de selección como: disponibilidad de una tecnología

[1] Omar Masera Cerutti (Coordinador de los Consultores, omasera@oikos.unam.mx), Nicolás Rodríguez Martínez (Etanol y Biodiesel, nrmartin@www.imp.mx), Ignacio Lazcano Martínez (Etanol y Biodiesel, ilazcano29@yahoo.com.mx), Luiz Augusto Horta Nogueira (Etanol, horta@unifei.edu.br), Isaias C. Macedo (Etanol, isaiasmacedo22@terra.com.br), Sergio C. Trindade (Etanol y Coordinador de los Consultores Internacionales de Etanol, strindade@msn.com), Daniela Thrän (Biodiesel, Daniela.Thraen@ie-leipzig.de), Oliver Probst (Biodiesel, oprobst@itesm.mx), Michael Weber (Biodiesel, Michael.Weber@ie-leipzig.de), Franziska Müller-Langer (Biodiesel, Franziska.Mueller-Langer@ie-leipzig.de)

madura, costos, necesidades de inversión, superficie requerida, índice de energía neta y emisiones y mitigación de gases de efecto invernadero se seleccionó a la caña de azúcar como el cultivo más promisorio de immediato, que puede ser complementada por otros cultivos a mediano y largo plazo.

El análisis económico mostró que con los insumos valorados a precio de costo actuales y tres precios de venta de etanol, representativos del mercado reciente de etanol combustible, todos en US$/m3: 450, 550 y 650. Considerando el precio de etanol en US$ 0.45 el resultado económico neto seria negativo para todos los casos / considerando precios de etanol de US$ 0.55 a US$ 0.65 el resultado seria positivo para caña de azúcar y maíz./ l. El costo de la materia prima es el elemento más importante de los costos de producción. De acuerdo con los datos del Annual Energy Outlook 2006 de la agencia de la información de la energía, el precio de mercado de etanol es de US$ 1.17 por litro para el 2006. Actualmente la fabricación de etanol en México para combustibles es marginal. Sería posible, dentro de ciertos límites, tener un programa de etanol combustible exitoso en México. Para eso, sería necesário una disminuición del costo de materia prima con el aumento de la escala productiva y precios de etanol en la franja superior del rango mencionado. El precio del etanol combustible tiende a vincularse al precio de gasolina, cuya tendencia futura es creciente, augurando así una expectativa positiva de viabilidad.

Basado en la experiencia internacional, un programa de etanol como combustible puede ser ideado como parte de una transición hacia sistemas de transporte sustentables. No se espera que el combustible etanol desplace completamente a la gasolina del mercado en ningún momento. Por el contrario, el etanol puede alargar los recursos petrolíferos logrando una moderada cuota de mercado y ahorrando gasolina para el futuro. En este estudio se recomienda un programa de introducción gradual del etanol con tres fases o escenarios. En la primera fase (2007-2012) se tendría como meta producir 411.9 miles de m3 de etanol el cual se obtendría principalmente de mieles de caña de azúcar y se dirigiría a reemplazar al metanol en los éteres producidos en el mercado nacional (MTBE y TAME) para fabricar ETBE. El etanol como componente del ETBE fabricado en México correspondería a una penetración del 5.7% en volumen de un porcentaje de las gasolinas suministradas a las Zonas Metropolitanas.

Para 2012, y sobre la base de etanol de jugo de caña de azúcar de cultivo de temporal en pastizales y tierras marginales, así como en proyectos de etanol que podrían desarrollarse a partir de otros insumos, podría tener lugar la sustitución del 5.7% de todas las gasolinas de las áreas metropolitanas, correspondiendo a una demanda de 1,110.6 miles de m3. De 2012 en adelante, y sobre la base de caña de azúcar y otros posibles insumos, como el cultivo múltiple anual sorgo dulce o maíz, el 10% de todas las gasolinas en México podría ser reemplazado por etanol, correspondiendo a una producción de 4,406.3 miles de m3. En todos estos desarrollos podría haber oportunidades para la exportación e importación de etanol, directamente o como ETBE.

Suponiendo que el jugo de caña de azúcar sea el insumo dominante, alcanzando una mezcla de etanol en todo México del 10%, el número actual de empleos en la industria se doblaría y se crearían unos 400 mil nuevos puestos de trabajo. El área necesaria alcanzaría alrededor de 800 mil hectáreas, más del doble de la superficie de cultivo actual de caña de azúcar en México. Los requerimientos de tierra podrían cumplirse aparentemente sin comprometer la producción de alimentos. Para lograr estas metas se requeriría una inversión de alrededor de US$ 160 millones en los próximos años y a más largo plazo una inversión en 45 destilerías

independientes de jugo de caña supondría US$ 2.25 miles de millones distribuidos a lo largo de varios años y más allá de 2012.

México se beneficiaría de la introducción del etanol como combustible de muchas formas: creación de empleo, desarrollo de la economía rural, ampliación de las infraestructuras sociales en zonas rurales, mejora de la seguridad energética, conservación de los recursos petrolíferos, mejor gestión del agua, expansión de la agricultura a tierras más secas cosechando cultivos resilientes, como cultivos anuales múltiples como el sorgo dulce, ahorro en los intercambios exteriores, motivación de la comunidad científica y tecnológica, incentivos a la industria de bienes de producción, mejora del medio ambiente local y global. El equipamiento para la fabricación de etanol y la generación combinada de calor y electricidad, en el caso del bagazo de caña, podrían tener un índice de nacionalización de casi el 100% en México, creando empleos de calidad y fortaleciendo la industria.

La reducción de las importaciones de gasolina y MTBE para el escenario en que todas las gasolinas en México fueran mezclas del 10% de etanol supondría un ahorro en la balanza de pagos de hasta US$ 2.0 mil millones. La venta de bonos de carbono a través de proyectos MDL podría potencialmente añadirse a este beneficio. Para el escenario de mayor penetración de etanol se espera una mitigación de 10.6 millones t CO2 eq/año con base en una producción a partir de caña de azúcar.

El éxito en el lanzamiento del programa de etanol dependerá en gran medida de un programa de inspección y mantenimiento de las estaciones de venta o gasolineras diseñado cuidadosamente e implementado de manera experta, en especial los tanques subterráneos de almacenamiento, y de los vehículos, en particular aquéllos fabricados antes de 1986. PEMEX y la industria automotriz mexicana tendrían un papel importante que jugar aquí.

La estructura de la producción de etanol en México en el futuro podría tener diferentes vías. Posiblemente coexistirán dos sistemas. Uno sería similar a la situación actual, esto es: un gran número de propietarios de tierra, superficies pequeñas, algunas organizadas en cooperativas. El otro sistema se basaría en participaciones mucho mayores. Estructuras apropiadas (para ambos sistemas) conllevarán diferencias en la creación de empleos. Si se da prioridad a la expansión a gran escala de la caña en pastizales y tierras marginales, tendrá lugar un desarrollo regional en nuevas zonas, creando empleos y promoviendo infraestructuras sociales donde antes apenas existían.

La revisión creativa del pacto social existente entre productores de caña e ingenios podría ofrecer una oportunidad a mantener por los beneficiarios actuales y para ampliar los beneficios sociales de los trabajadores rurales que no los disfrutan en el presente. Es una tarea que requiere ingenio y creatividad, pero a no ser que haya avances en esta área, el costo del etanol en México podría ser demasiado alto[2] para los implicados a fin de lograr un consenso hacia un programa de etanol como combustible en el país. La experiencia brasileña de integración de intereses de productores e ingenios en un acuerdo negociado libremente, dirigido por modelos técnicos y económicos y supervisados por expertos de ambas partes podría ser de interés para México.

[2] Los precios de exportación del azúcar están por debajo de los precios nacionales – el llamado precio KARBE pagado por la caña a partir del azúcar recuperable.

Comprender los fundamentos, oportunidades y barreras, así como las motivaciones de los actores sociales clave en el programa de etanol, contribuirán a construir el consenso que posibilitará la introducción del etanol en el mercado en México, dentro del marco legal creado por las leyes y regulaciones a tal efecto. Los gobiernos son los iniciadores naturales de este proceso transición. La implementación en sí se lleva a cabo a través de una combinación de agentes públicos y privados. Deberían considerarse foros nacionales de actores sociales clave para conseguir un consenso sobre un portafolio de prioridades de acción. Esto puede traducirse en legislación, regulación, financiamiento, presupuestos públicos y privados, asistencia técnica, cooperación técnica, llevando todos estos aspectos a una implementación suave y sin problemas de un programa de etanol.

Todo programa de etanol puesto en marcha en el mundo fue lanzado con el apoyo de incentivos financieros y de todo tipo, inclusive mandatos y los contratos de compra resultantes; impuestos diferenciales del etanol para ser mezclado con gasolina para nivelar los costos del etanol y de la gasolina en la mezcla distribuida a través de la red de venta y otros. Esto tendría como resultado a corto plazo pérdidas para el Erario, que podrían ser compensadas a través de fondos que deberían establecerse en la implementación de la legislación mexicana sobre biocombustibles y energías alternativas.

1.3 Biodiesel

La producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en México en el mediano plazo de realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrario y agroindustrial así como un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico.

El biodiesel puede producirse a partir de una gran variedad de cultivos oleaginosos, de grasas animales y de aceites y grasas recicladas. En este proyecto se estudiaron como insumos para este combustible a la semiila de colza, soya, jatropha, girasol, y cártamo, así como el uso de sebo animal y aceite reciclado. Se analizó la producción de biodiesel en plantas con dedicación exclusiva a este combustible o como anexos a plantas existentes para la extracción de aceites comestibles.

La producción de biodiesel a partir de semilla de colza y soya es técnicamente madura en todo el mundo. El biodiesel producido a partir de jatropha es técnicamente viable aunque no se tiene tanta experiencia a nivel internacional; finalmente el biodiesel de palma tiene el inconveniente de no permitir que los ésteres satisfagan los requerimientos de flujo en frío en las regiones templadas.

El análisis económico muestra que en todos los casos los precios de producción del biodiesel son mayores que el costo de oportunidad del diesel comercializado por PEMEX. En este sentido, la situación en México no es muy diferente de la de otros países, pero es más evidente dado el bajo costo del diesel de petróleo, el cual cuenta incluso con subsidios especiales dentro del sector agrícola. Los costos de producción del biodiesel tienen un rango de entre $5.3 a $12.4 pesos por litro equivalente. Los cultivos más competitivos son la palma, girasol y soya. La jatropha es promisoria pero debe resolverse el problema de posibles toxinas en la glicerina y otros subproductos generados en el proceso. Los costos de los insumos agrícolas representan

entre el 59% y 91% de los costos de producción del biodiesel. En muchos casos, como la soya, estos costos dependen en gran medida de la posibilidad de vender los subproductos agrícolas.

Al igual que en el caso del etanol, este estudio sugiere una estrategia gradual de introducción del biodiesel en México. De manera inmediata, la introducción del biodiesel podría basarse sobre todo en el uso de materias primas de bajo costo como aceites y grasas recicladas. En el mediano plazo se requerirán esquemas de incentivos para la introducción del biodiesel demanera masiva a fin de permitir la sustitución de entre el 2% y 5% del diesel de petróleo después del 2012. Para lograr estas metas se necesita un plan de desarrollo del mercado de este combustible que contemple aspectos como: establecer de manera inmediata el marco legal –por ejemplo, una directiva de biodiesel con metas claras, estándares nacionales para este combustible e incentivos a la producción agrícola y comenzar a desarrollar una industria nacional de producción de biodiesel, incluyendo actividades de capacitación y de investigación y desarrollo Asimismo, se necesita aumentar de manera muy significativa el área de cultivos oleaginosos, puesto que nuestro país no cubre actualmente ni siquiera la demanda de aceites comestibles.

Para llegar a sustituir un 5% del diesel de petróleo en el país será necesario instalar 10 plantas industriales con capacidad de 100.000 t/año cada una o más de 140 plantas pequeñas con capacidad de 5,000 t/año cada una. Para optimizar el suministro de los cultivos agrícolas, y reducir el costo de distribución de biodiesel y sus subproductos, las plantas de producción deben instalarse en las cercanías de refinerías o de las plantas productores de aceites vegetales. Desde el punto de vista logístico, la mejor opción son plantas integradas de producción de aceites vegetales y biodiesel.

Las inversiones estimadas para llegar al escenario de 5% de biodiesel alcanzan $3,100 millones de pesos, puesto que cada planta industrial de gran escala tiene un costo unitario de $311 millones de pesos. Aunque la producción de biodiesel estaría orientada al mercado nacional, el combustible podría también exportarse ocasionalmente a otros mercados como Europa o los Estados Unidos.

Las ventajas de un programa nacional de biodiesel serían muy importantes. Desde el punto de vista ambiental, la sustitución de diesel de petróleo por biodisel permitiría ahorrar alrededor de 1.7 millones de toneladas de CO2/año hacia el año 2010 y 7.5 millones de toneladas de CO2/año hacia el 2014.

Dentro del sector rural, apropiadamente diseñado, un programa de introducción de biodiesel podría presentar un balance ecológico positivo y ayudar al desarrollo de las economías regionales y locales. Para lograr estos objetivos es muy importante que, en las zonas tropicales, los cultivos de biodiesel –ej. Aquéllos basados en aceite de palma- no se establezcan sobre bosques naturales. Asimismo, se debe evitar la competencia por el uso de la tierra para fines de alimentación, o evitar la contaminación por el uso intensivo de fertilizantes químicos y pesticidas. En este sentido, se debería enfatizar un enfoque agroecológico e impulsar los cultivos perennes–como la Jatropha- que permitan el uso de tierras de temporal y/o marginales y aseguren una mayor cobertura del suelo para control de erosión.

De hecho, un programa nacional de biodiesel debería basarse en un esquema diverso e integrado regionalmente tanto en aspectos de la demanda y procesamiento –utilizando plantas de distintas capacidades- como en la oferta de cultivos. En todos los casos el énfasis de un

programa de biodiesel es la creación de valor agregado y empleo en México. Para esto se recomienda que la producción y procesamiento de este combustible se haga con tecnología diseñada y construída localmente. La transferencia de tecnología en áreas específicas es importante, pero debe evitarse la importación directa de las plantas.

Los principales cuellos de botella para la introducción del biodiesel en México están en el sector agrícola. Por esta razón se tiene que establecer un amplio plan de apoyo a la agricultura para lograr el suministro nacional de los insumos. Los estímulos para una economía rural más dinámica deberían incluir los siguientes aspectos:

- Apoyar cultivos oleaginosos a pequeña escala, los cuales aumentan el valor añadido de la agricultura rural y contribuyen a la biodiversidad, debería iniciarse un plan de promoción específico (como ejemplo, el programa brasileño de biodiesel).
- Para algunos cultivos oleaginosos como la Jatropha es necesario un mejor conocimiento del cultivo. Asimismo necesitan más tiempo para su establecimiento. Los conocimientos resultantes de estas actividades de investigación tendrán que ser transferidos a la población rural a través de programas educacionales.
- La formación de cooperativas especializadas, que permitirían crear sinergias a través de una utilización conjunta de la maquinaria; debería fomentarse el acceso a financiamiento y a asistencia técnica.
- Agencias de financiamiento, como FIRA, podrían crear programas especiales para el biodiesel o su producción a tasas de interés preferenciales.
- Debería fomentarse la integración de la producción de semillas oleaginosas y prensado de semillas/refinado de aceites/producción de biodiesel (siendo económicamente viable) para crear una retención más fuerte de valor añadido en las áreas rurales.

La producción a gran escala de biodiesel en México requiere de un esfuerzo importante en investigación y desarrollo. Las actividades que deberían enfatizarse son, por ejemplo, el establecimiento de investigación agrícola para mejorar la productividad de cultivos energéticos, especialmente para ampliar las variedades de las diferentes especies, y el establecimiento de nuevos sistemas de cultivo. Igualmente debería existir una cooperación con las investigaciones de PEMEX sobre el conocimiento de las opciones de hidrogenación, en especial para el uso de aceite de palma. Otra medida necesaria sería la creación de centros de investigación y desarrollo regional sobre biodiesel/biocombustibles y aportar continuamente fondos. Las industrias privadas deberían ser bienvenidas a participar, pero los fondos básicos deberían ser aportados por el Gobierno para asegurar la disponibilidad de la información relevante de los interesados. Estos fondos de base podrían ser aportados a través de un módico impuesto estatal sobre los biocombustibles. En estos centros deberían llevarse a cabo programas de alcance institucional y de asistencia técnica y parte de este esfuerzo podría ser combinado con los centros existentes de investigación y tecnología agrícola operados por Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México (FIRA).

2 Background

Task 1: Economic overview

Omar Masera Cerutti, Manuela Prehn Junquera

gtz

Índice

1. Aspectos generales

2. El sector agrícola

3. El contexto demográfico y del empleo

4. El papel de los hidrocarburos en la economía mexicana

5. El papel del comercio y la situación de la balanza de pagos en la economía mexicana

6. La participación de México en tratados de libre comercio como el NAFTA

7. Bibliografía

Lista de Tablas

Tabla 1.1. Listado de los Estados de México y el número de Municipios por Estado

Tabla 1.2. México: Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 1994-2004. Total de la actividad económica (Millones de Pesos a Precios Corrientes)

Tabla 1.3. Evolución de la tasa anual de crecimiento del PIB (1993-2005)

Tabla 1.4. Tasas anuales de variación del PIB por sectores (1993-2005)

Tabla 1.5. Tasas anuales de variación del PIB por Habitante (1993-2005)

Tabla 2.1. México: Personal ocupado remunerado por sectores de actividad (1970-2003)

Tabla 3.1. México: población según Entidades Federativas, 2000

Tabla 3.2. México: total de la población según tamaño de localidad, 2000¸ (Localidades de 1 a 4,999 habitantes)

Tabla 3.3. México: total de la población por edades, 2000

Tabla 4.1. Producción de petróleo crudo, principales países, 2004. Producción de gas natural, principales países, 2004

Tabla 4.2. Reservas probadas de petróleo crudo, principales países, a 1 de enero de 2005

Tabla 4.3. Producción de energía primaria en México 2003-2004 (Petajoules)

Lista de Figuras

Figura 1.1. Carta topográfica nacional estatal 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995

Figura 1.2. Evolución de la tasa anual de crecimiento del PIB (1993-2005)

Figura 1.3. Tasas anuales de variación del PIB por sectores (1993-2005)

Figura 1.4. Tasas anuales de variación del PIB por Habitante (1993-2005)

Figura 3.1. Evolución de la población mexicana (1900 – 2000)

Figura 4.1. Estructura de la producción de energía primaria en México, 2004

(10,330.774 Petajoules)

Figura 6.1. Cronología de la política de apertura de México

1. Aspectos generales[1]

Los Estados Unidos Mexicanos abarcan un territorio de 1,964,375 km^2 y cuentan con una población de 97,483,412 habitantes. La República Mexicana tiene fronteras con los Estados Unidos de América, Guatemala y Belice, a lo largo de un total de 4,301 km. (Presidencia de la República, 2004). México se compone de 32 Entidades Federativas: 31 Estados y un Distrito Federal (Ciudad de México), siendo éste último la capital del país y sede de los poderes federales. México además cuenta con 2,438 Municipios (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2005) como sub-división administrativa de los Estados. Oaxaca y Veracruz presentan el mayor número de Municipios, muchos de ellos de tamaño muy reducido. A continuación se listan los Estados y el número de Municipios, así como un mapa estatal.

Tabla 1.1. Listado de los Estados de México y el número de Municipios por Estado

Estado	Número de Municipios	Estado	Número de Municipios
AGUASCALIENTES	11	NAYARIT	20
BAJA CALIFORNIA	5	NUEVO LEON	51
BAJA CALIFORNIA SUR	5	OAXACA	570
CAMPECHE	11	PUEBLA	217
COAHUILA DE ZARAGOZA	38	QUERETARO DE ARTEAGA	18
COLIMA	10	QUINTANA ROO	8
CHIAPAS	118	SAN LUIS POTOSI	58
CHIHUAHUA	67	SINALOA	18
DURANGO	39	SONORA	72
GUANAJUATO	46	TABASCO	17
GUERRERO	81	TAMAULIPAS	43
HIDALGO	84	TLAXCALA	60
JALISCO	124	VERACRUZ-LLAVE	212
MEXICO	125	YUCATAN	106
MICHOACAN DE OCAMPO	113	ZACATECAS	58
MORELOS	33		
TOTAL 2,438			

Fuente: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2005

[1] Los datos y análisis se presentarán teniendo en cuenta los indicadores económicos principales, como el PIB y PIB per cápita en términos corrientes y en términos de la paridad del poder adquisitivo, distribución de la renta, tasas de crecimiento general y sectorial

Figura 1.1. Carta topográfica nacional estatal 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995

La forma de organización política de México es la de una República representativa, democrática, federal, compuesta de Estados libres y soberanos en todo lo concerniente a su régimen interior; pero unidos en una federación.

En cuanto a su geografía, el elemento topográfico prominente del país es la altiplanicie Mexicana, continuación de las llanuras del suroeste de Estados Unidos, que comprende más de la cuarta parte del área total de México. Se divide en la altiplanicie septentrional y meridional y limita en el este y el oeste por dos cadenas montañosas, la sierra Madre occidental y la sierra Madre oriental. Ambas sierras son interceptadas al sur por el eje o cordillera Neovolcánica transversal, por debajo de la cual también se encuentran la sierra Madre del Sur, la sierra Madre de Chiapas y la sierra Madre de Oaxaca.

La República destaca por la extensión de sus litorales, que es de 11,122 km. exclusivamente en su parte continental, sin incluir los litorales insulares (INEGI, 2006) y cuenta con algunos ríos importantes (la mayoría no navegables), siendo el río Bravo el de mayor longitud, y con lagos como el de Chapala.

La economía mexicana ha registrado un crecimiento promedio del 2.8% al año a lo largo del período 1993-2005. El Producto Interno Bruto (PIB) en 1994 se situó en 1.3 billones de pesos a precios corrientes y ascendió a 6.9 billones en 2004 (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, 2005). Geográficamente el PIB más alto se registra en

el Distrito Federal, seguido por el Estado de México y el más bajo las Entidades Federativas de Colima y Nayarit.

Tabla 1.2. México: Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 1994-2004. Total de la actividad económica (Millones de Pesos a Precios Corrientes)

PERIODO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Total Nacional	**1.306.301,6**	**1.678.834,8**	**2.296.674,5**	**2.873.273,0**	**3.517.781,9**	**4.206.742,9**	**4.983.517,7**	**5.269.653,6**	**5.734.645,8**	**6.245.546,9**	**6.964.058,6**
Aguascalientes	13.253,9	18.127,9	25.362,5	33.167,7	41.010,0	49.265,2	61.679,1	66.231,9	71.616,8	77.702,3	85.575,4
Baja California	38.071,7	53.460,8	72.662,8	97.637,7	119.420,2	148.317,7	180.879,6	183.592,0	189.341,7	210.278,9	244.088,7
Baja California Sur	6.817,7	9.007,8	12.305,7	15.887,2	19.223,7	22.963,0	26.961,1	30.676,3	33.336,9	37.382,2	41.788,9
Campeche	15.288,6	23.006,1	29.688,5	35.335,7	38.110,0	48.692,2	59.557,3	63.105,6	73.267,0	77.355,0	86.031,9
Coahuila de Zaragoza	37.587,8	55.767,1	75.850,2	98.652,0	121.394,4	140.323,0	155.674,8	163.099,0	185.148,8	205.495,6	234.823,6
Colima	7.076,0	8.769,8	12.184,7	15.185,7	19.265,9	23.731,9	27.247,8	28.152,8	31.296,2	33.298,6	37.166,9
Chiapas	23.579,1	29.900,8	39.517,8	49.340,6	59.339,0	68.701,2	81.194,9	86.693,8	96.802,4	106.025,2	118.079,2
Chihuahua	49.983,8	69.763,0	97.131,4	121.773,2	152.233,3	184.824,8	228.549,5	233.023,1	243.428,4	272.027,9	301.539,2
Distrito Federal	313.554,9	384.748,5	522.989,2	643.559,4	786.584,5	943.877,1	1.121.855,8	1.176.371,8	1.331.089,4	1.419.881,8	1.520.677,1
Durango	17.013,7	21.862,5	30.926,0	37.498,6	46.207,5	52.378,7	59.924,5	66.573,2	72.242,8	81.146,5	92.406,1
Guanajuato	42.880,3	55.057,3	76.566,0	101.384,8	124.416,9	145.166,6	170.862,2	179.817,0	201.967,6	223.096,8	250.370,7
Guerrero	24.269,2	29.917,9	38.563,1	47.294,0	59.032,8	72.637,4	85.676,8	93.694,8	100.398,8	107.374,6	117.247,6
Hidalgo	19.049,3	22.211,6	31.414,3	38.715,6	48.510,2	57.125,7	64.968,6	68.438,7	74.280,1	80.315,9	90.768,0
Jalisco	85.292,7	105.052,8	147.351,5	181.786,9	227.495,1	273.261,1	321.206,8	346.263,9	367.710,2	391.820,7	439.288,5
México	132.864,6	168.942,6	238.288,2	299.227,1	362.431,9	426.241,7	503.113,1	527.733,8	552.573,7	589.024,7	659.943,0
Michoacán de Ocampo	30.759,6	39.453,7	52.919,1	69.071,5	81.329,1	101.532,8	110.932,1	116.280,9	121.559,6	135.261,9	153.969,6
Morelos	18.979,4	22.624,4	30.320,0	38.167,9	48.663,0	57.815,0	66.511,4	75.279,3	77.781,5	87.949,8	96.119,9
Nayarit	8.539,9	9.428,7	12.823,5	15.885,0	19.743,9	23.692,3	26.379,1	30.481,6	32.645,6	33.621,5	37.504,6
Nuevo León	85.545,1	111.663,0	151.815,1	193.251,3	240.613,2	286.750,0	352.924,3	368.601,6	409.144,5	452.692,0	517.474,5
Oaxaca	21.869,4	27.135,5	36.617,9	43.584,5	51.939,8	62.767,3	73.878,4	81.320,2	88.876,0	97.443,5	106.014,5
Puebla	42.445,0	55.905,6	78.401,3	101.479,2	129.119,7	163.274,6	187.412,9	198.867,2	209.142,8	229.458,5	247.502,8
Querétaro de Arteaga	19.209,7	26.935,9	37.591,7	48.780,7	62.127,2	73.262,9	86.334,3	90.933,3	98.817,4	106.564,9	119.657,0
Quintana Roo	16.608,8	20.596,8	27.932,3	36.374,2	46.707,5	56.899,5	69.770,4	81.295,7	87.947,3	98.759,5	114.238,2
San Luis Potosí	23.688,4	30.276,7	40.473,7	50.553,4	61.374,1	71.570,5	85.772,4	87.333,8	94.796,9	106.648,6	126.279,9
Sinaloa	28.640,4	34.711,3	48.155,2	57.307,5	67.857,8	79.188,3	96.570,0	99.888,5	109.461,4	119.362,2	138.472,0
Sonora	34.716,0	48.589,1	63.915,8	79.343,2	95.724,2	111.617,8	133.261,7	141.481,4	145.711,4	161.308,3	186.618,3
Tabasco	16.472,8	21.723,4	28.983,6	35.774,8	42.030,9	51.198,7	60.267,8	65.734,1	70.210,4	77.501,7	86.748,1
Tamaulipas	37.545,3	50.282,3	68.390,6	83.673,6	104.218,5	128.040,1	154.304,1	160.993,9	178.829,4	201.558,4	232.432,1
Tlaxcala	6.561,2	8.510,6	11.963,9	15.194,9	18.281,1	22.020,1	26.511,3	29.394,2	30.834,5	34.161,5	39.649,4
Veracruz	60.386,8	80.251,4	107.729,4	128.771,3	148.949,0	172.537,1	198.245,7	212.841,8	232.009,6	255.712,0	290.409,6
Yucatán	17.218,1	20.898,5	29.029,2	36.895,2	46.043,3	56.750,6	69.230,6	76.411,1	80.398,4	88.274,5	98.498,2
Zacatecas	10.532,5	14.251,1	18.810,2	22.718,5	28.384,3	30.317,8	35.859,7	39.047,4	41.978,3	47.041,5	52.675,0

Fuente: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, 2005

La tasa anual de crecimiento del PIB (sobre la base del PIB trimestral a precios constantes de 1993), ha tenido considerables altibajos entre 1993 y 2005, como puede observarse en la tabla

1.3. y figura 1.2. A partir de la crisis de 1995, el crecimiento promedio anual ha sido del 3.7%. En 2004 se alcanzó la tasa de crecimiento más alta desde 2000, en un escenario internacional muy favorable debido al dinamismo de la economía de Estados Unidos, destino del 90% de las exportaciones mexicanas, y a los altos precios del petróleo. Según cifras preliminares de 2005, el PIB registró una tasa de 3.0% en ese año.

Tabla 1.3. Evolución de la tasa anual de crecimiento del PIB (1993-2005)

Evolución de la tasa anual de crecimiento del PIB* (1993-2005)												
1993	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005****
1.9	4.5	-6.2	5.1	6.8	4.9	3.9	6.6	-0.2	0.8	1.4	4.2	3.0

*Sobre la base del PIB trimestral a precios constantes de 1993
**Cifras preliminares
Fuente: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, 2005

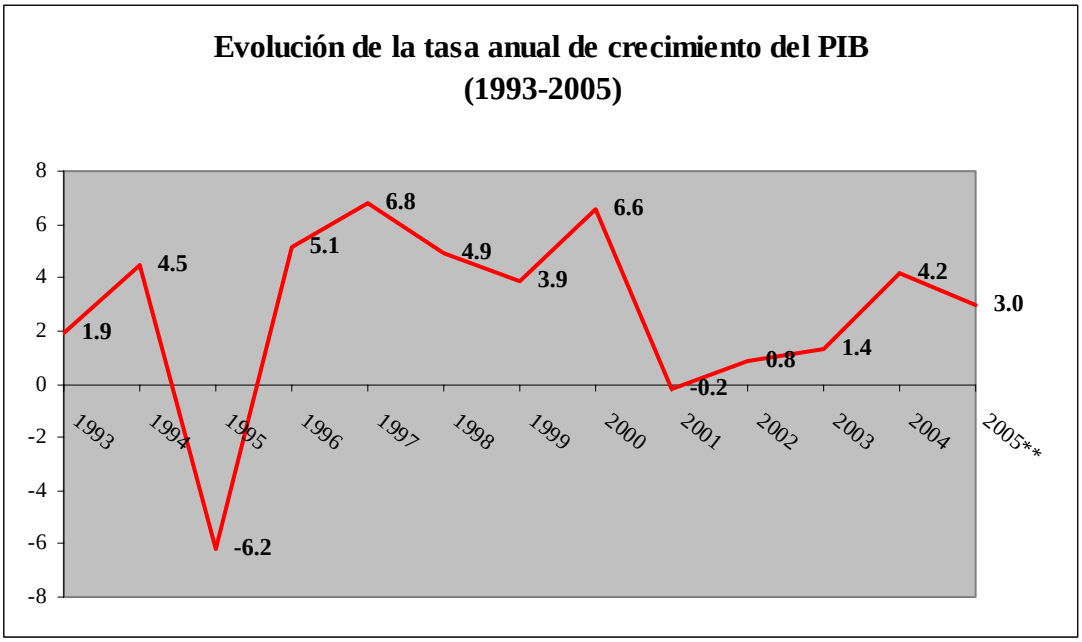


Figura 1.2. Evolución de la tasa anual de crecimiento del PIB (1993-2005)

El sector más dinámico de la economía en los últimos 12 años ha sido el transporte y comunicaciones con un crecimiento promedio de 5.9% al año, seguido de los sectores financiero y de producción de electricidad, agua y gas con 3.91% al año y 3.77% al año, respectivamente. En contraste, el sector agrícola creció sólo un 1.7% al año en promedio en el mismo período, como se indica en la tabla 1.4. y figura 1.3.

Tabla 1.4. Tasas anuales de variación del PIB por sectores (1993-2005)

Producto Interno Bruto: Tasas anuales de variación* (1993 - 2005)													
	1993	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005****
Total	1.9	4.5	-6.2	5.1	6.8	4.9	3.9	6.6	-0.2	0.8	1.4	4.2	3.0
Agricultura	2.9	0.9	0.9	3.6	0.2	0.8	3.6	0.6	3.5	0.1	3.1	3.5	-1.5
Minería	1.8	2.5	-2.7	8.1	4.5	2.7	-2.1	3.8	1.5	0.4	3.7	3.4	1.2
Industria manufacturera	-0.7	4.1	-4.9	10.8	9.9	7.4	4.2	6.9	-3.8	-0.7	-1.3	4.0	1.2
Construcción	3.0	8.4	-23.5	9.8	9.3	4.2	5.0	4.2	-5.7	2.1	3.3	6.1	3.3
Electricidad, gas y agua	2.6	4.8	2.1	4.6	5.2	1.9	15.8	3.0	2.3	1.0	1.5	2.8	1.4
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	4.0	8.7	-4.9	8.0	9.9	6.7	7.8	9.1	3.8	1.8	5.0	9.2	7.1
Comercio, restaurantes y hoteles	0.1	6.8	-15.5	4.8	10.7	5.6	3.1	12.2	-1.2	0.0	1.5	5.5	3.1
Establecimientos financieros, seguros, bienes inmuebles y servicios prestados a las empresas	5.4	5.4	-0.3	0.6	3.7	4.6	3.6	5.5	4.5	4.2	3.9	3.9	5.8

*Sobre la base del PIB trimestral a precios constantes de 1993
**Cifras preliminares
Fuente: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, 2005

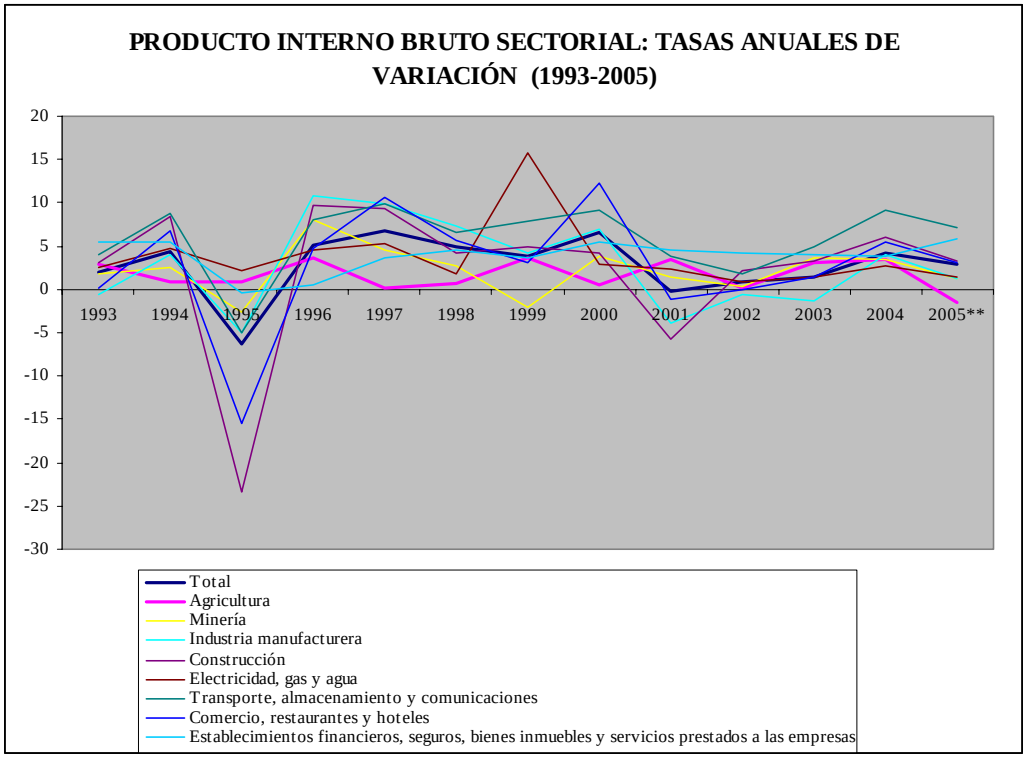


Figura 1.3. Tasas anuales de variación del PIB por sectores (1993-2005)

El PIB per cápita se situó en 9,136 dólares corrientes en 2003, por arriba de los 8,920 dólares corrientes PPP que había alcanzado en el año 2000 (BID, 2005). Sobre la base del PIB trimestral a precios constantes de 1993, el crecimiento anual promedio del PIB por habitante fue de 1.3%, con fuertes fluctuaciones. Para el 2005 el crecimiento estimado en el PIB per cápita fue de 1.9%, según se muestra en la tabla 1.5. y figura 1.4.

Tabla 1.5. Tasas anuales de variación del PIB por Habitante (1993-2005)

Producto Interno Bruto por Habitante*: Tasas anuales de variación (1993-2005)												
1993	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005****
0.1	2.6	-7.8	3.5	5.2	3.4	2.5	5.2	-1.4	-0.4	0.2	3.1	1.9

*Sobre la base del PIB trimestral a precios constantes de 1993
**Cifras preliminares
Fuente: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, 2005

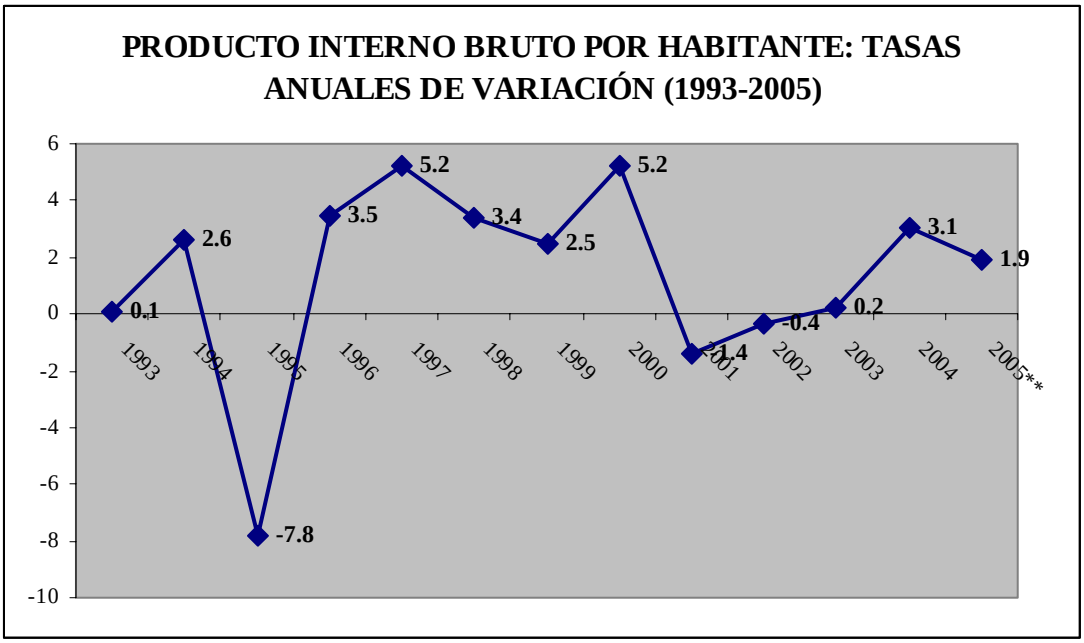


Figura 1.4. Tasas anuales de variación del PIB por Habitante (1993-2005)

2. El sector agrícola

Las políticas agrícolas han sufrido una reforma significativa durante la última década, que se dio en el contexto de un movimiento hacia una economía más abierta y más orientada al mercado. Prueba de ello es el ingreso de México en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), la Organización Mundial del Comercio (OMC) y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), cuya participación tiene implicaciones institucionales y económicas importantes para el país en general y para su agricultura en particular.

De hecho, el punto de inicio de las reformas en el sector agrícola puede situarse con la reforma del Artículo 27 de 1992. Tras décadas de redistribución de tierra y del desarrollo de las formas sociales de propiedad de la tierra (ejidos o tierra comunal), el cambio al Artículo 27 de la Constitución Mexicana abrió la puerta a la transformación de las formas sociales de propiedad a la propiedad privada.

Los recientes desarrollos de la política agrícola en México pueden agruparse en tres áreas:

Reforma agraria: en la actualidad, la propiedad comunal y los ejidos cubren un área de 102 millones de hectáreas, que equivalen aproximadamente a la mitad del territorio nacional. La reforma al Artículo 27 de la Constitución en 1992 y la subsiguiente Ley Agraria abrieron la posibilidad de definir derechos de propiedad individual de la tierra en terrenos bajo el sistema de ejido o propiedad comunal. En agosto de 2004 se había certificado el 69% de las tierras ejidales y comunales bajo el programa PROCEDE, pudiendo entonces rentarse los terrenos a cualquiera o venderse a otros miembros del ejido. La certificación de la tierra, supone un paso significativo en las políticas neoliberales que buscan la privatización de los derechos de la tierra dentro de los ejidos. Hasta el momento, esta política ha tenido un impacto limitado en el mercado de la tierra agrícola, con cierto crecimiento en el arrendamiento de la misma (a pesar de que los terrenos ejidales siempre se han rentado de manera informal). La cantidad de tierra agrícola de ejidos que se ha vendido en cambio parece ser marginal.

Desarrollos en la política comercial: el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, firmado en 1994, estableció un calendario difícil de reducción de barreras comerciales agrícolas entre México, Estados Unidos y Canadá. Además, desde 1995, el Acuerdo de la Ronda de Uruguay sobre Agricultura de la OMC requirió reducciones en los aranceles para la Nación Más Favorecida (NMF) aplicados a las importaciones de México desde otros países. Sin embargo, los plazos derivados del TLCAN han sido más difíciles porque se aplican al mayor socio comercial de México, los Estados Unidos, y porque el TLC requiere un cambio hacia un libre comercio total con los países socios para 2008. Las consecuencias del TLC han sido generalmente favorables para el sector agrícola exportador mientras que han acentuado de manera muy importante la crisis de los agricultores pobres y cerealeros del país. Las repercusiones del TLCAN se analizarán en más detalle en el último punto de este estudio.

Desarrollos en política interna: las medidas fronterizas llevadas a cabo suponen para México que sus precios se mantengan por encima de los del mercado mundial. Con la reducción de la protección arancelaria, otras políticas internas han adquirido relevancia

y han tenido desarrollos importantes en los últimos años, aunque no han logrado paliar las consecuencias negativas del TLCAN. El programa PROCAMPO fue lanzado en 1994 para apoyar el ingreso de los campesinos y facilitar el ajuste en un período de reducción al apoyo en precio y de reducciones arancelarias según el TLCAN y consiste en pagos directos realizados a los campesinos elegibles a fin de compensar la declinación de los precios de venta esperada, a condición de que la tierra se use para producción agrícola o ganadera o se encuentre dentro de algún programa ambiental. Desde 1996 también existe un conjunto de programas bajo la Alianza para El Campo y la Alianza Contigo para reforzar la inversión en áreas rurales pobres, ofreciendo subsidios sobre todo para inversión en el campo. El Acuerdo Nacional para la Agricultura de 2003 intentó dar respuesta a ciertas inquietudes de los campesinos sobre el final del período de transición del TLCAN.

Las dificultades de estos ajustes han provocado en muchas ocasiones la intervención del gobierno en la industria, como en el caso del azúcar. Esta industria fue privatizada a principios de los años noventa, se encontró en bancarrota en 2000, junto con la mitad de los ingenios y la entidad nacional para el financiamiento de azúcar (FINA) En 2001, como respuesta a consideraciones sociales y locales de empleo, se expropiaron 27 ingenios (producían la mitad del azúcar mexicano) y se creó un fondo para facilitar la operación de los mismos hasta que fueran privatizados de nuevo.

La estructura de la economía agrícola de México ha cambiado de modo muy dramático desde la implantación de las reformas. El volumen del comercio agrícola aumentó sustancialmente, mostrando cambios en la composición de las importaciones y exportaciones mexicanas. Los efectos combinados de la reforma agraria, las reformas de mercado y PROCAMPO han sido negativos para los cultivos que se beneficiaban más del apoyo y protección antes de la implantación de las reformas: reducción en la producción y aumento de las importaciones, algún incremento en el área de la tierra, tal vez algún incremento en inversión, una caída en el uso de aportes comprados y quizá la caída asociada en los rendimientos de los cultivos y, por último, reducción en el empleo.

El empleo agrícola ha sido también fuertemente afectado por las reformas a la política agrícola. Casi tres millones de agricultores en México reciben los pagos de PROCAMPO, lo que sirve como indicador del total de la población de trabajadores directamente afectados por el cambio en la estructura de apoyo al campo. Más de la tercera parte de los beneficiarios de los pagos de PROCAMPO, cerca de 1.2 millones de agricultores, tiene terrenos de maíz de menos de una hectárea.

Una vía del ajuste en la caída en el empleo agrícola en los hogares fue aumentar el tiempo dedicado al trabajo fuera del campo, mientras permanecían en su comunidad. Sin embargo, la medida más socorrida en los hogares pobres ha sido el aumento significativo de la migración hacia los Estados Unidos. La producción de cultivos se ha vuelto más intensiva en términos de tierra y menos intensiva en términos de mano de obra. Las importaciones de algunos de los principales cultivos han crecido notablemente.

En la tabla 2.1. aparecen los datos del personal ocupado remunerado por sectores en México de 1970 a 2003 en promedio anual. Se observa como a principios de los setenta los sectores agropecuario y de servicios se hallaban bastante equilibrados, siendo el sector industrial el que

empleaba a menos personal remunerado. En los años posteriores, el sector industrial fue ganando importancia sobre el sector agropecuario, superándolo a partir de 1991. El sector servicios ha ocupado el primer puesto en todo este período y a partir de 2000 empleó prácticamente al triple de personas que el agropecuario.

De todo lo expuesto anteriormente cabe afirmar que la agricultura en México ha sufrido un gran cambio en la última década, con efectos diferenciados para la agricultura de exportación –beneficiada en forma neta- y para los agricultores campesinos –quienes han sido los grandes perdedores hasta el momento. La reforma a las políticas agrícolas en México se asienta sobre tres pilares:

- un mercado de la tierra un poco más activo y seguro para la inversión privada.

- la liberalización comercial en el contexto de la OMC y del TLCAN, que ha hecho que los agricultores mexicanos sean más sensibles a las señales de precio del mercado mundial

- la composición del apoyo a los productores agrícolas ha cambiado, alejándose de los esquemas de apoyo en precio y aportes hacia los pagos al ingreso directo de PROCAMPO

Tabla 2.1. México: Personal ocupado remunerado por sectores de actividad (1970-2003)

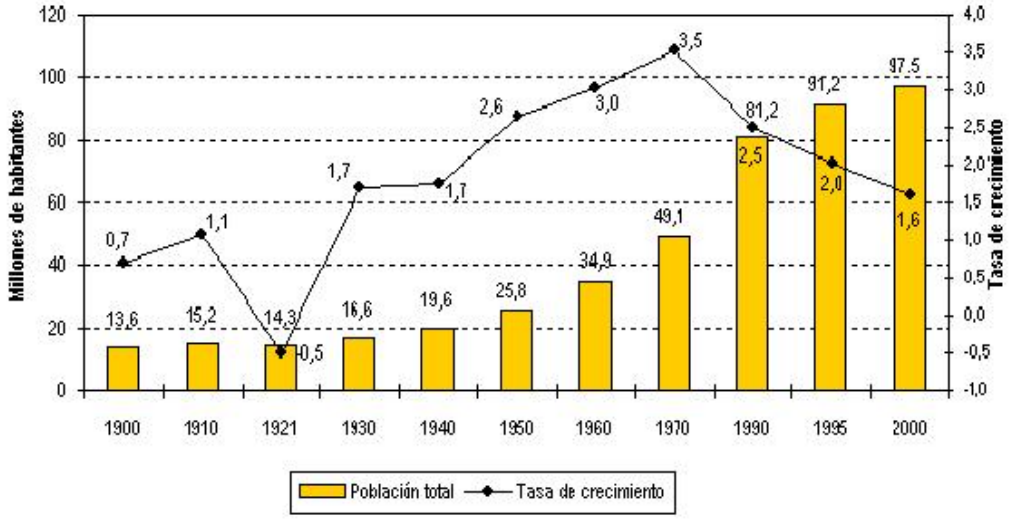
(Miles de personas ocupadas remuneradas, promedio anual)

Año	Total	var. % anual	Agropecuario	Industrial					Servicios				
				Total	Minería	Manufact.	Construcc.	Electricidad, Gas y Agua	Total	Comercio, Restaurantes y Hoteles	Transporte Almacenamiento y Comunicac.	Financieros, Seguros y B. Inmuebles	Comunales, Sociales y Personales
1970 [1/]	**12,863**		4,466	2,729	155	1,726	810	38	5,668	2,011	443	229	2,985
1971	**13,322**	3.57	4,624	2,759	155	1,772	792	40	5,939	2,053	475	238	3,173
1972	**13,702**	2.85	4,550	2,925	162	1,831	890	42	6,227	2,104	507	249	3,367
1973	**14,441**	5.39	4,759	3,153	174	1,925	1,010	44	6,529	2,157	538	257	3,577
1974	**14,647**	1.43	4,503	3,298	186	1,996	1,070	46	6,846	2,202	569	270	3,805
1975	**15,296**	4.43	4,655	3,386	184	2,002	1,151	49	7,255	2,267	602	282	4,104
1976	**15,550**	1.66	4,472	3,491	193	2,046	1,200	52	7,587	2,300	642	295	4,350
1977	**16,238**	4.42	4,897	3,466	197	2,051	1,163	55	7,875	2,345	664	309	4,557
1978	**16,844**	3.73	4,891	3,715	206	2,133	1,321	55	8,238	2,368	712	327	4,831
1979	**17,676**	4.94	4,737	4,066	220	2,291	1,497	58	8,873	2,534	780	351	5,208
1980	**18,795**	6.33	4,901	4,407	240	2,417	1,687	63	9,487	2,637	907	382	5,561
1981	**20,043**	6.64	5,189	4,752	263	2,542	1,881	66	10,102	2,762	988	425	5,927
1982	**19,863**	-0.90	5,035	4,606	270	2,485	1,785	66	10,222	2,701	993	454	6,074
1983	**19,572**	-1.47	5,245	4,063	266	2,310	1,421	66	10,264	2,704	993	466	6,101
1984	**20,271**	3.57	5,342	4,167	271	2,361	1,467	68	10,762	2,744	1,203	480	6,335
1980 [2/]	**20,280**		5,670	4,661	209	2,441	1,930	81	9,949	2,940	904	352	5,753
1981	**21,548**	6.25	5,829	5,119	224	2,557	2,252	86	10,600	3,129	972	386	6,113
1982	**21,482**	-0.31	5,637	5,024	237	2,505	2,193	89	10,821	3,157	1,037	426	6,201
1983	**20,995**	-2.27	5,874	4,426	238	2,326	1,771	91	10,695	3,072	990	437	6,196
1984	**21,482**	2.32	5,941	4,605	248	2,374	1,889	94	10,936	3,127	1,006	465	6,338
1985	**21,955**	2.20	6,096	4,763	258	2,451	1,955	99	11,096	3,147	1,029	470	6,450
1986	**21,640**	-1.43	5,946	4,653	257	2,404	1,891	101	11,041	3,108	1,035	471	6,427
1987	**21,843**	0.94	6,020	4,691	267	2,430	1,890	104	11,132	3,153	1,060	479	6,440
1988	**21,892**	0.22	6,011	4,717	273	2,427	1,910	107	11,164	3,209	1,040	489	6,426
1989	**22,279**	1.77	6,152	4,750	272	2,428	1,946	104	11,377	3,230	1,070	476	6,601
1988 [3/]	**24,070**		6,261	5,291	184	3,035	1,940	133	12,518	3,922	1,268	495	6,834
1989	**24,764**	2.88	6,131	5,657	173	3,168	2,179	136	12,976	4,150	1,338	503	6,986
1990	**25,958**	4.82	6,230	6,125	179	3,275	2,529	142	13,602	4,505	1,438	511	7,148
1991	**26,724**	2.95	6,215	6,296	176	3,307	2,667	146	14,214	4,772	1,485	529	7,427
1992	**27,160**	1.63	6,158	6,410	149	3,380	2,734	147	14,592	4,977	1,489	538	7,589
1993	**27,467**	1.13	6,245	6,427	131	3,310	2,838	148	14,795	5,025	1,499	547	7,725
1994	**28,166**	2.54	6,319	6,565	125	3,239	3,054	147	15,282	5,177	1,579	556	7,970
1995	**27,347**	-2.91	6,194	5,986	124	3,067	2,646	149	15,168	5,185	1,521	549	7,914
1996	**28,270**	3.37	6,309	6,568	124	3,278	3,014	152	15,393	5,191	1,625	562	8,015
1997	**29,347**	3.81	6,116	7,295	127	3,566	3,447	155	15,935	5,383	1,699	590	8,263
1998	**30,635**	4.39	6,346	7,784	130	3,773	3,720	161	16,506	5,584	1,791	598	8,533
1999	**31,364**	2.38	6,392	8,046	130	3,913	3,828	174	16,926	5,768	1,857	602	8,699
2000	**32,009**	2.06	6,286	8,367	132	4,102	3,957	176	17,357	5,929	1,934	605	8,889
2001	**31,827**	-0.57	6,356	7,953	129	3,899	3,743	182	17,518	6,079	1,963	612	8,864
2002	**31,552**	-0.87	6,282	7,730	127	3,637	3,777	188	17,540	6,058	1,919	617	8,947
2003	**31,681**	0.41	6,370	7,724	127	3,531	3,870	196	17,587	6,116	1,902	615	8,955

Fuente: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, con datos del INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales
Nota: El año 2003 es la última información disponible publicada por la fuente oficial que es el INEGI.
[1/] Serie Histórica 1970-1984 elaborada con la Matriz Insumo-Producto de 1970.
[2/] Serie Histórica 1980-1988 elaborada con la Matriz Insumo-Producto de 1980.
[3/] Serie Histórica 1988-2003 elaborada con base al Sistema de Cuentas Nacionales de México. (Metodología año base 1993).

3. El contexto demográfico y del empleo

México contaba con una población de 97,483,412 habitantes para el año 2000 (INEGI, 2000), población cuya composición étnica es 60 por ciento de mestizos, 30 por ciento amerindios, 9 por ciento europeos y 1 por ciento otros. En la figura 3.1. se observa la evolución de la población mexicana desde 1900 a 2000, habiéndose registrado en este período un continuo crecimiento del número de habitantes, si bien a partir de 1970 la tasa de crecimiento anual ha ido disminuyendo desde un 3.5% a un 1.6%.



Fuente: SEMARNAT con datos de INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000

Figura 3.1. Evolución de la población mexicana (1900 – 2000)

La distribución geográfica de la población según Entidades Federativas indica que el Estado de México engloba el mayor número de habitantes (13% del total), seguido por el Distrito Federal, Veracruz y Jalisco. El Estado menos poblado es Baja California Sur (0.4% del total) (INEGI, 2000). El listado completo se incluye en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. México: población según Entidades Federativas, 2000

		Total de la población 2000
	Total Nacional	**97.483.412**
01	Aguascalientes	944.285
02	Baja California	2.487.367
03	Baja California Sur	424.041
04	Campeche	690.689
05	Coahuila de Zaragoza	2.298.070
06	Colima	542.627
07	Chiapas	3.920.892
08	Chihuahua	3.052.907
09	Distrito Federal	8.605.239
10	Durango	1.448.661
11	Guanajuato	4.663.032
12	Guerrero	3.079.649
13	Hidalgo	2.235.591
14	Jalisco	6.322.002
15	México	13.096.686
16	Michoacán de Ocampo	3.985.667
17	Morelos	1.555.296
18	Nayarit	920.185
19	Nuevo León	3.834.141
20	Oaxaca	3.438.765
21	Puebla	5.076.686
22	Querétaro de Arteaga	1.404.306
23	Quintana Roo	874.963
24	San Luis Potosí	2.299.360
25	Sinaloa	2.536.844
26	Sonora	2.216.969
27	Tabasco	1.891.829
28	Tamaulipas	2.753.222
29	Tlaxcala	962.646
30	Veracruz de Ignacio de la Llave	6.908.975
31	Yucatán	1.658.210
32	Zacatecas	1.353.610

Fuente: INEGI – XII Censo General de Población y Vivienda 2000

Esta distribución territorial además se caracteriza por dos fenómenos demográficos predominantes: la concentración en grandes ciudades y la dispersión poblacional. Esta dualidad se expresa en un alto volumen de población localizado en un número reducido de ciudades, al mismo tiempo que se presenta un gran número de asentamientos humanos dispersos a lo largo del territorio nacional. Por ejemplo, según el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 llevado a cabo por INEGI, 8,034,680 personas habitaban en 2000 en localidades de 100 a 499 habitantes, un 8.2% de la población total (Tabla 3.2.).

Tabla 3.2. México: total de la población según tamaño de localidad, 2000 (Localidades de 1 a 4,999 habitantes)

	De 1 - 49 habitantes	De 50 - 99 habitantes	De 100 - 499 habitantes	De 500 - 999 habitantes	De 1000 - 1999 habitantes	De 2000 – 2,499 habitantes	De 2,500 – 4,999 habitantes
Total Nacional	1,483,739	1,104,249	8,034,630	6,109,048	6,180,197	1,811,727	5,462,305

Fuente: INEGI – XII Censo General de Población y Vivienda 2000

Por edades, México se caracteriza por tener una población predominantemente joven. Aproximadamente el 70% se concentra entre los 0 y los 34 años. Por sexos, en 2000 el número de mujeres superó al de hombres en 2,298.906 personas (INEGI, 2000), tendencia que se ha seguido manifestando en el transcurso de los años (Tabla 3.3.).

Tabla 3.3. México: total de la población por edades, 2000

De 0 - 4 años	De 5 - 9 años	De 10 - 14 años	De 15 - 19 años	De 20 - 24 años	De 25 - 29 años	De 30 - 34 años	De 35 - 39 años	De 40 - 44 años	De 45 - 49 años	De 50 - 54 años
10,635,157	11,215,323	10,736,493	9,992,135	9,071,134	8,157,743	7,136,523	6,352,538	5,194,833	4,072,091	3,357,953
De 55 - 59 años	**De 60 - 64 años**	**De 65 - 69 años**	**De 70 - 74 años**	**De 75 - 79 años**	**De 80 - 84 años**	**De 85 - 89 años**	**De 90 - 94 años**	**De 95 - 99 años**	**De 100 y más años**	
2,559,231	2,198,146	1,660,785	1,245,674	865,270	483,876	290,051	122,006	62,892	19,757	

Fuente: INEGI – XII Censo General de Población y Vivienda 2000

En el período 1990-2000 la evolución de las tasas de natalidad y mortalidad ha sido decreciente, y la esperanza de vida tanto de hombres como de mujeres ha registrado un aumento progresivo, situándose la total en 2000 en 74 años, frente a los 71,2 años en 1990 (CONAPO, 2002).

El porcentaje de población urbana se situó en 2000 en un 74% (INEGI, 2002). Esta mayor concentración de habitantes en las zonas urbanas se viene observando desde los años setenta (en 1950 la población rural superaba a la urbana y en 1960 estaban prácticamente al mismo nivel). La población campesina está mostrando a su vez un envejecimiento ante la emigración de los jóvenes hacia las ciudades en busca de trabajo.

Según datos del Banco Mundial, el total de la mano de obra en México ha ido creciendo desde 22 millones de personas en 1980 hasta alcanzar 44 millones de personas en 2003. El porcentaje de mano de obra femenina también ha registrado un aumento en este período (en 2003: 34% del total). La tasa de desempleo ha descendido de un 3% en 1990 a un 2.2% en 2000. En 2003 se situó en 2.4%. Analizando la población ocupada por rama de actividad, el sector servicios es el que viene ocupando el primer lugar en los últimos años, seguido por el comercio. Hasta 2002, sin embargo, el segundo puesto fue ocupado por la industria extractiva, de transformación y electricidad. Las actividades agropecuarias han ido disminuyendo el número de empleados, si bien su peso como rama de actividad en México sigue siendo elevado.

4. El papel de los hidrocarburos en la economía mexicana

El sector energético tiene un papel decisivo en México, ya que en él se sustenta en gran medida su desarrollo económico y social, y abarca desde la generación de electricidad e hidrocarburos como insumos para la economía y la prestación de servicios públicos, dando empleo a más de 300,000 trabajadores. La comercialización de hidrocarburos en el plano internacional es un factor determinante para la generación de divisas y de importantes contribuciones fiscales para el gobierno federal. En suma, el sector energético representa un espacio económico clave.

México ocupó en 2004 la sexta posición mundial en cuanto a la producción de petróleo crudo, por detrás de Arabia Saudita, Rusia, Estados Unidos, Irán y China, y la onceava como productor de gas natural (PEMEX, 2005). En la tabla 4.1. se listan los quince mayores productores de petróleo y gas del mundo.

Tabla 4.1. Producción de petróleo crudo, principales países, 2004

País		Miles de barriles diarios
1	Arabia Saudita	8,900
2	Rusia	8,887
3	Estados Unidos de América	5,430
4	Irán	3,932
5	China	3,485
6	**México**	**3,383**
7	Noruega	2,979
8	Canadá	2,418
9	Emiratos Arabes Unidos	2,355
10	Kuwait	2,345
11	Nigeria	2,343
12	Venezuela	2,208
13	Iraq	2,003
14	Reino Unido	1,888
15	Libia	1,547
TOTAL MUNDIAL		71,160

Fuente: Pemex Anuario Estadístico 2005

Producción de gas natural, principales países, 2004

País		Millones de pies cúbicos diarios
1	Rusia	58,645
2	Estados Unidos de América	53,306
3	Canadá	19,594
4	Reino Unido	9,764
5	Argelia	8,142
6	Holanda	7,993
7	Noruega	7,401
8	Irán	7,101
9	Indonesia	6,033
10	Arabia Saudita	5,314
11	**México**	**4,573**
12	Argentina	4,412
13	Malasia	4,178
14	Emiratos Arabes Unidos	4,098
15	China	3,936
TOTAL MUNDIAL		257,962

Petróleos Mexicanos (PEMEX), cuenta con un monopolio constitucional para la explotación de los recursos energéticos del país (principalmente petróleo y gas) y ostentó en 2003 el tercer puesto de entre las principales empresas del mundo productoras de petróleo crudo y el noveno en gas natural. Las reservas probadas de petróleo crudo, incluyendo condensados, se situaron en 13,401 millones de barriles (lugar catorceavo del ranking mundial, ver tabla 4.2.) y las de gas natural en 15 billones de pies cúbicos (PEMEX, 2005) en enero de 2005.

Tabla 4.2. Reservas probadas de petróleo crudo, principales países, a 1 de enero de 2005

País		Millones de barriles
1	Arabia Saudita	259,400
2	Canadá	178,800
3	Irán	125,800
4	Irak	115,000
5	Kuwait	99,000
6	Emiratos Árabes Unidos	97,800
7	Venezuela	77,226
8	Rusia	60,000
9	Libia	39,000
10	Nigeria	35,255
11	Estados Unidos de América	21,891
12	China	18,250
13	Qatar	15,207
14	**México**	**13,401***
15	Argelia	11,800
TOTAL MUNDIAL		1,277,702

Fuente: Pemex Anuario Estadístico 2005
* Incluye condensados

La **demanda nacional de petrolíferos** promedio entre 1994 y 2004 fue de 1,308 miles de barriles diarios de petróleo crudo equivalente (mbdpce), registrando un crecimiento de 3.1% en 2004 (1,358.7 mbdpce) con respecto a 2003 (Secretaría de Energía, 2005). El sector transporte constituye el principal consumidor de petrolíferos con 853.5 mbdpce (2004), valor que supone el 62.8% del total, habiendo aumentado un 5.8% en comparación a 2003. El sector eléctrico ocupó el segundo lugar, con una participación del 22.7% el total. En cuanto al consumo de combustibles, las gasolinas fueron el mayor insumo energético del sector transporte y según su nivel de demanda el segundo petrolífero fue el combustóleo.

La incorporación de procesos más eficientes y el mayor procesamiento de crudo Maya han sido algunas de las razones que han permitido incrementar de forma sostenida la elaboración de petrolíferos desde 2000 hasta 2004, situándose ésta en 1,189 mbdpce. El petrolífero de mayor producción corresponde al combustóleo, aunque su participación en la oferta interna disminuyó durante ese período. No obstante, en el caso de las gasolinas, su participación aumentó en 2.1% entre 1994 y 2004.

En términos de **comercio exterior**, a pesar de las disminuciones que se registraron entre 2000 y 2003, en 2004 ascendió la importación de petrolíferos en 16.8 mbdpce con respecto al año anterior debido a que la oferta nacional de petrolíferos no pudo satisfacer el aumento de la demanda. Por su parte, las exportaciones de petrolíferos se redujeron fundamentalmente por la disminución de las ventas de combustóleo al exterior.

Según los resultados del estudio "Prospectiva de petrolíferos 2005-2014" llevado a cabo por la Secretaría de Energía, se pronostica que al final del período se presente un incremento del 20% de la demanda, siendo los principales combustibles de la demanda nacional las gasolinas, el combustóleo y el diesel. Se prevé que el procesamiento del crudo crezca en un 34.5%.

La tasa de crecimiento anual de la economía mexicana registrada en 2004, facilitada por el proceso de recuperación global de la actividad económica, tuvo también su reflejo en la **demanda nacional de gas natural** durante 2004, registrando un aumento de 8.2% con respecto a 2003. El consumo interno de gas natural creció 77.7% en el período 1994-2004. Por sectores, el consumo en 2004 se estructuró de la siguiente forma: 40.4% sector petrolero, 35.9% sector eléctrico, 21.8% sector industrial y el resto correspondió al sector residencial, servicios y transporte. El estudio "Prospectiva del mercado de gas natural 2005-2014" realizado por la Secretaría de Energía estima que la demanda nacional en ese período crecerá en un promedio anual de 5.2% al pasar de 5,722 mmpcd en 2004 a 9,493 mmpcd en 2014.

Por lo que respecta al gas LP, alrededor del 70% de los hogares mexicanos consumen este combustible, hecho que destaca su carácter predominantemente social. De 1995 a 2005 el consumo nacional del gas LP creció en un promedio de 2.8% anual y se pronostica que la demanda interna durante el período 2005-2014 aumente a una tasa de 1.4% anual, pasando de 334.4 miles de barriles diarios (mbd) en 2005 a 383.5 mbd en 2014.

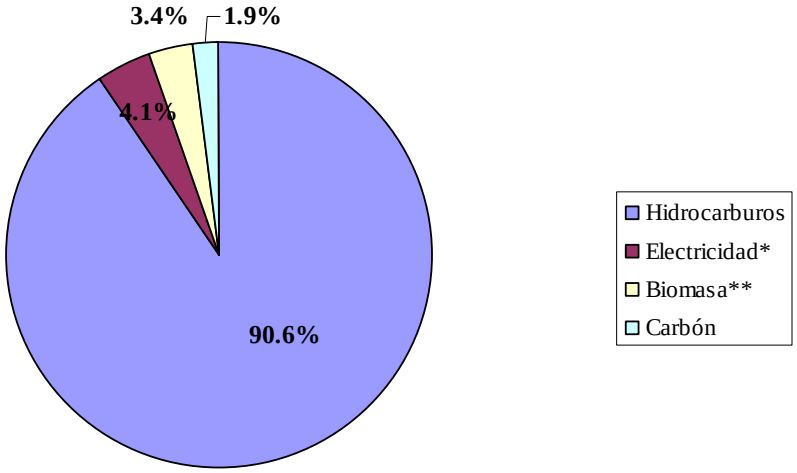
Dos graves problemas de la situación energética actual de México son: a) la creciente dependencia de productos petrolíferos terminados del exterior; y b) la escasa diversificación de la oferta energética. Por un lado, existe una demanda creciente de productos energéticos terminados que el país es incapaz de cubrir únicamente con su producción nacional. De hecho existe una situación excedentaria de energía primaria (crudo), pero una falta de energéticos terminados (para uso doméstico, gasolinas, etc.), que deben ser importados. La principal causa de fondo es la falta de inversión en aumentar la capacidad de refinación del país.

La falta de diversificación de la oferta energética es también preocupante. El 90% del consumo de energía primaria corresponde a los hidrocarburos y entre ellos casi el 72% al petróleo crudo. Según cifras de 2004, la producción total de energía primaria se situó en 10,333,774 petajoules, un 2.6% más que en 2003 (Secretaría de Energía, 2005). En contraste, las energías renovables tienen un rol marginal. La biomasa (que incluye leña y bagazo de caña) ocupó únicamente un 3.4% de la oferta energética. Con excepción de la hidroenergía, otras fuentes de energía renovable como la geotermia o energía eólica participaron en un pequeño porcentaje en a producción de electricidad primaria (Tabla 4.3. y Figura 4.1.).

Tabla 4.3. Producción de energía primaria en México 2003-2004 (Petajoules)

Producción de energía primaria (Petajoules)					
2003	2004	Variación porcentual 2004/2003		Estructura porcentual	
				2003 %	2004 %
Total	**10,064.352**	**10,330.774**	**2.6**	**100.0**	**100.0**
Carbón	192.888	198.847	3.1	1.9	1.9
Hidrocarburos	9,143.659	9,359.645	2.4	90.9	90.6
Petróleo crudo	7,228.465	7,432.559	2.8	71.8	71.9
Condensados	153.169	178.345	16.4	1.5	1.7
Gas no asociado	475.847	564.511	18.6	4.7	5.5
Gas asociado	1,286.178	1,184.230	-7.9	12.8	11.5
Electricidad primaria	381.646	421.809	10.5	3.8	4.1
Nucleoenergía	114.871	100.634	-12.4	1.1	1.0
Hidroenergía	205.059	254.391	24.1	2.0	2.5
Geoenergía	61.664	66.722	8.2	0.6	0.6
Energía eólica	0.052	0.061	17.3	n.s.	n.s.
Biomasa	346.159	350.474	1.2	3.4	3.4
Bagazo de caña	89.417	92.063	3.0	0.9	0.9
Leña	256.742	258.411	0.6	2.6	2.5

Fuente: Sistema de Información Energética (SIE), Sener
n.s.: no significativo
La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras



Fuente: Sistema de Información Energética (SIE), Sener
* Incluye hidroenergía (2.5%), nucleoenergía (1.0%), geoenergía (0.6%) y energía eólica (n.s.) evaluados en su equivalente primario
** Incluye leña (2.5%) y bagazo de caña (0.9%)
n.s.: no significativo
La suma de los parciales puede no coincidir con los totales, debido al redondeo de las cifras

Figura 4.1. Estructura de la producción de energía primaria en México, 2004 (10,330.774 Petajoules)

Es clave la implementación de políticas más decididas y coordinadas de promoción del uso de energías alternativas a las fuentes convencionales, así como una legislación nacional que fomente y regule dicha utilización. La diversificación es particularmente importante en el sector transporte, que actualmente depende enteramente de los hidrocarburos.

5. El papel del comercio exterior y la situación de la balanza de pagos en la economía mexicana

México tiene una balanza comercial deficitaria. En 2005 el déficit de la cuenta corriente de la balanza de pagos de México, medido tanto en dólares como con relación al PIB, resultó de 5,708 millones de dólares, monto equivalente a 0.74% del PIB (BANCO DE MÉXICO, 2006). Tales cifras se comparan con los déficit observados en 2003 y 2004 de 8,621 y 7,180 millones, que como proporción del PIB se ubicaron respectivamente en 1.4 y 1.1 por ciento. Asimismo, en 2005, al igual que ocurrió en el año precedente, el saldo deficitario de la cuenta corriente fue financiado con holgura con recursos de largo plazo (Tabla 5.1.).

Tabla 5.1. Balanza de pagos en 2005

Cuenta Corriente de la Balanza de Pagos Millones de dólares		
	2004 (Anual)	**2005 (Anual)**
Cuenta Corriente	**-7,180**	**-5,708**
Balanza Comercial	-8,811	-7,559
Exportaciones	187,999	213,711
Importaciones	196,810	221,270
Servicios No Factoriales	-4,649	-5,231
Servicios Factoriales	-10,763	-13,402
Transferencias	17,043	20,484
Balanza Comercial No Petrolera	**-21,413**	**-23,170**

Fuente: Banco de México, 2006

La disminución del déficit de la cuenta corriente en 2005 con relación a su nivel en 2004 respondió principalmente a dos factores: un aumento del saldo superavitario de la balanza comercial de productos petroleros y mayores ingresos por concepto de remesas familiares.

En 2005 el valor de las exportaciones ascendió a 213,711 millones de dólares, lo que implicó un crecimiento anual de 13.7 por ciento. Dicho incremento se derivó de la combinación de alzas de 34.8 por ciento de las exportaciones petroleras y de 10.6 por ciento de las no petroleras. El elevado crecimiento de las petroleras reflejó el importante aumento que presentó en el año el precio internacional del petróleo. Por su parte, el crecimiento de las exportaciones no petroleras resultó menor al observado en 2004. Ello respondió tanto a un menor dinamismo de la demanda externa en el conjunto del año, como a la persistente pérdida de competitividad de los productos nacionales en los mercados externos

El valor de las importaciones de mercancías en 2005 sumó 221,270 millones de dólares, cifra que implicó un crecimiento anual de 12.4 por ciento, una tasa menor a la registrada el año previo (de 15.4 por ciento). Tal evolución reflejó principalmente una desaceleración de las adquisiciones de bienes intermedios que, a su vez, respondió tanto a un menor dinamismo de la producción para el mercado interno, como a la menor expansión que registraron las exportaciones manufactureras en cuya fabricación se utilizan insumos importados. Cabe señalar que el incremento de las importaciones totales en 2005 se derivó de crecimientos respectivos de 9.9, 24 y 16 por ciento de las importaciones de bienes intermedios, de consumo y de capital.

En cuanto a la estructura de las exportaciones e importaciones de mercancías, tomando como referencia el mes de enero de 2006, más de tres cuartas partes del valor de las exportaciones que efectuó México estuvieron integradas por productos manufacturados. En enero de 2006 el valor de las importaciones de mercancías se ubicó en 18,762 millones de dólares, lo que representó un aumento anual de 22.9 por ciento, cifra que implicó un incremento a tasa anual de 22.9 por ciento. En ese mes el valor de las importaciones de bienes intermedios fue de 14,008 millones de dólares, cifra 21.5% superior a la de enero de 2005.

La composición de las exportaciones e importaciones de mercancías en enero pasado se ilustra en la Figura 5.1.:

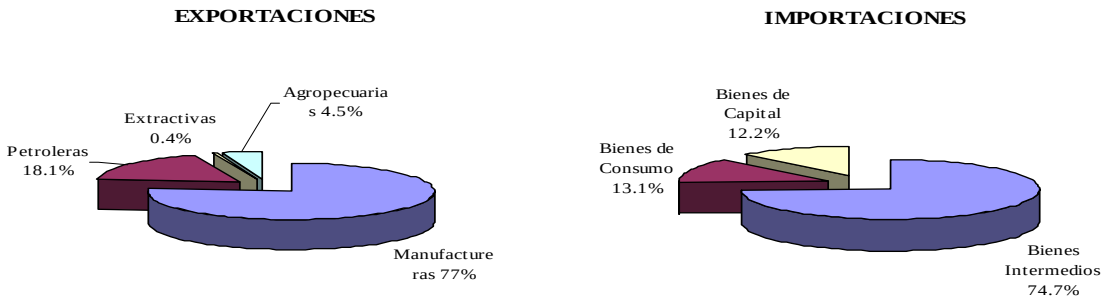
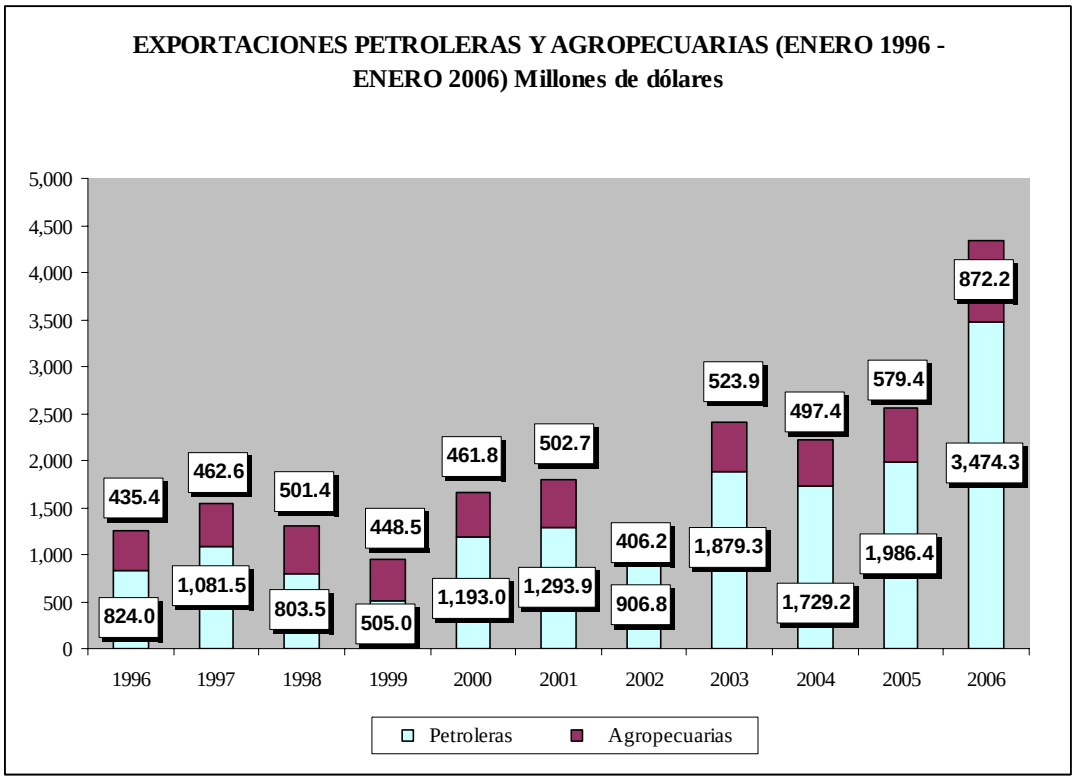
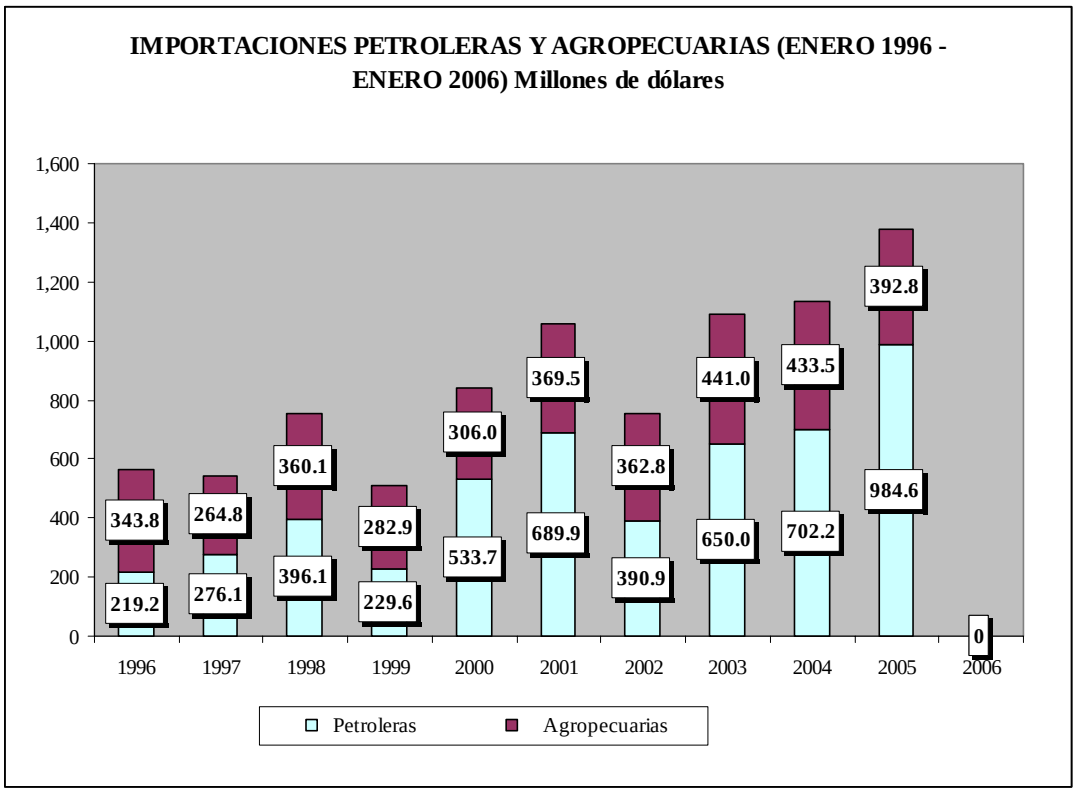


Figura 5.1. Composición de las exportaciones e importaciones de mercancías, enero 2006

Observando la evolución de las exportaciones e importaciones petroleras y agropecuarias (Figura 5.2.), destaca el hecho de que el valor tanto de las entradas como de las salidas de productos petrolíferos se sitúa muy por encima de las de productos agropecuarios, sobre todo a partir de 2000. Las exportaciones agropecuarias entre 2004 y 2006 han ido en aumento, al contrario que las importaciones. La tendencia de las petroleras, por su parte, ha sido ascendente tanto en entradas como en salidas.





Fuente: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, sobre la base de información del Banco de México, INEGI, SHCP y la Secretaría de Economía, última actualización 2 de marzo de 2006

Figura 5.2. Evolución de las exportaciones e importaciones petroleras y agropecuarias en millones de dólares (mes de enero 1996 – 2006)

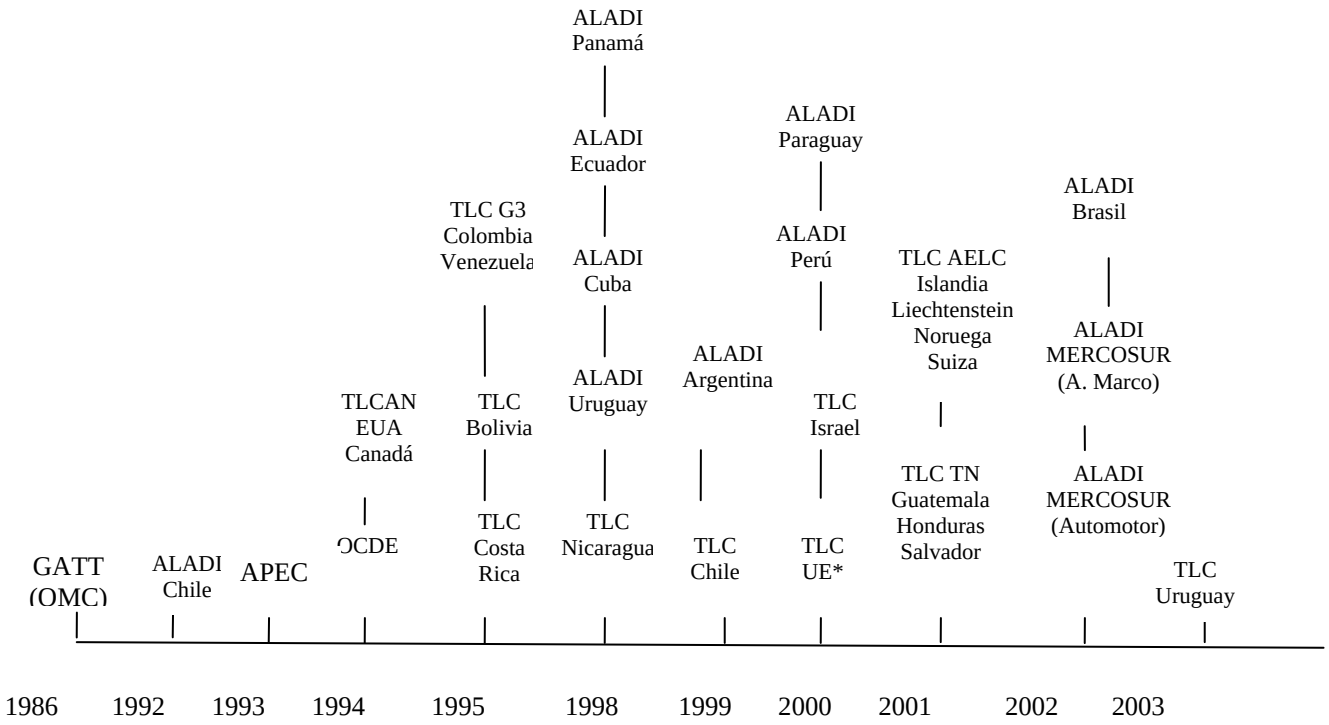
En 2005 el ingreso de recursos al país por concepto de remesas familiares ascendió a 20,035 millones de dólares, con un incremento de 20.6 por ciento con respecto al dato de 2004. Esta entrada de recursos fue equivalente a 2.6 puntos porcentuales del PIB y superó al saldo superavitario de la balanza comercial de productos petroleros, al igual que al flujo de inversión extranjera directa y a los ingresos provenientes de los viajeros internacionales que visitan el país.

La cuenta de capital de la balanza de pagos mostró en 2005 un superávit de 13,826 millones de dólares. Este saldo se derivó en lo principal por entradas de 2 recursos provenientes de inversión extranjera, tanto directa como de cartera, y de financiamiento externo dirigido al sector privado no bancario y a proyectos Pidiregas. En el año de referencia el sector público y la banca comercial se desendeudaron con el exterior y hubo un aumento de los activos en el exterior propiedad de residentes en México. La economía mexicana recibió en 2005 un flujo de inversión extranjera directa (IED) de 17,805 millones de dólares, monto muy cercano al observado en el año previo.

En resumen, en 2005 la balanza de pagos de México se caracterizó en su conjunto por lo siguiente: déficit de la cuenta corriente por 5,708 millones de dólares, superávit de la cuenta de capital por 13,826 millones, un flujo negativo de 953 millones en el renglón de errores y omisiones y un incremento de la reserva internacional neta del Banco de México por 7,173 millones de dólares. Como resultado de esto último, el saldo de dicha reserva se ubicó al cierre del año pasado en 68,669 millones de dólares.

6. Participación de México en tratados de libre comercio: oportunidad para una economía con el etanol como combustible

México cuenta con acceso seguro y preferencial a los mercados de 42 países (considerando a los diez países que ingresaron en la Unión Europa el 1 de mayo de 2004) en tres continentes. En el cuadro siguiente se especifican los tratados de libre comercio de los que México es miembro desde 1986 hasta nuestros días:



*UE: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, Reino Unido y Suecia

Figura 6.1. Cronología de la política de apertura de México

En los últimos años, México se ha convertido en la octava potencia comercial mundial y la primera en América Latina, con una participación del 44% en las exportaciones y 49% en las importaciones totales de la región.

En 2003, las exportaciones totales de bienes mexicanos sumaron 164.9 mil millones de dólares (mmd), un 2.5% más que en 2002 y más del triple que en 2003. El principal mercado para las exportaciones mexicanas es Estados Unidos, país que participa con un 88.7% del valor de 2003, seguido de la Unión Europea (3.4%), Canadá (1.7%) y Aruba (0.4%) (SECRETARÍA DE ECONOMÍA, 2004).

En cuanto a las importaciones, en 2003 los 170.6 mil millones de dólares de compras totales que México realizó al resto del mundo representan un incremento de 1.1% en comparación con 2002, y equivalen a 2.61 veces las registradas en 1993. Del valor total de las importaciones mexicanas de 2003 el 87% corresponde a bienes intermedios y bienes de capital. Los principales países proveedores de México son: Estados Unidos (61.8% del valor de 2003), la Unión Europea (10.6%), China (5.5%), Japón (4.4%) y Canadá (2.4%).

Entre 1993 y 2003 los sectores con mayor participación en las exportaciones mexicanas, son también los que han presentado las mayores tasas de crecimiento promedio anual: Eléctrico y Electrónico (17.0%), Textil y Confección (16.4%) y Equipos de Transporte y Autopartes (13.0%). Por lo que respecta a las importaciones, los sectores con las mayores tasas de crecimiento promedio anual fueron: Eléctrico y Electrónico (10.1%) y Metal básico (11.6%).

En los últimos años, México ha reformado su Ley de Inversión Extranjera (LIE) y suscrito diversos tratados de libre comercio y Acuerdos para la Promoción y Protección Recíproca de las Inversiones (APPRIs) para abrir nuevas oportunidades de inversión y otorgar mayor certidumbre y seguridad jurídica a los inversionistas nacionales y extranjeros. Estas medidas han aumentado significativamente el atractivo de invertir en el país, y han contribuido a incrementar la relación retorno-riesgo para el inversionista.

Como resultado de la apertura en el comercio y la inversión, en el período 1994-2000 las exportaciones constituyeron un pilar fundamental en el crecimiento económico y la generación de empleo en México. El aumento de las exportaciones contribuyó con más de la mitad del crecimiento del PIB y uno de cada dos empleos generados estuvo relacionado con la actividad exportadora. No obstante, la marcha poco favorable de las exportaciones durante 2001-2003 y la dependencia del PIB del comercio exterior (30%) han hecho que las ventas al exterior ya contribuyan en forma muy determinante a la recuperación y crecimiento de la economía en su conjunto.

Por su papel como instrumento clave para incrementar los flujos de comercio e inversión entre México, Estados Unidos y Canadá y convertir a Norteamérica en una de las regiones comerciales más dinámicas e integradas del mundo, se analiza a continuación más en detalle el **Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)** o North American Free Trade Agreement (NAFTA).

Firmado por México, Estados Unidos y Canadá el 17 de diciembre de 1992, si bien no entró en vigor hasta el 1 de enero de 1994, este Tratado creó una “zona de libre comercio” entre estos tres países al establecer las reglas que definirían la forma y el momento de eliminar las barreras arancelarias y conseguir así la libre circulación de los productos y servicios en América del Norte. El Tratado también propugnó la existencia de la protección y cumplimiento de los derechos de propiedad intelectual.

En los doce años de vigencia del TLCAN el comercio trilateral se ha triplicado, situándose en promedio en más de 2,000 millones de dólares diarios. En el caso de México, su economía creció 39.8% en términos reales, crecimiento impulsado por las exportaciones. Entre 1993 y 2005 el valor de las exportaciones de México a sus socios TLCAN se multiplicó por 4, para alcanzar 182 mil millones de dólares en 2005. Esto le permitió pasar de una balanza comercial deficitaria a un superávit con respecto a sus socios de 57.8 miles de millones de dólares en 2005 (SECRETARÍA DE ECONOMÍA, 2004).

En cuanto a las importaciones mexicanas provenientes de Estados Unidos y Canadá, en 2005 ascendieron a 124.4 mil millones de dólares. Esta cifra supone un incremento de 168% durante la vigencia del Tratado y casi el 90% de los productos son bienes intermedios y de capital. El TLCAN ha permitido ampliar las opciones de consumo en México, propiciando que los productos ofrezcan una mayor calidad y precios más competitivos. Como contrapartida, y

desde la perspectiva de la producción nacional, debe mencionarse la desaparición progresiva y obligada de los mercados de muchos productos al no poder competir con los precios y calidad de los importados.

Asimismo, los flujos de la inversión extranjera directa han registrado un aumento significativo, concentrándose principalmente en servicios financieros, comercio y la industria automotriz. Durante la vigencia del TLCAN la productividad de los trabajadores mexicanos en la industria manufacturera se ha incrementado en 69.6%. En la actualidad, uno de cada seis empleos está relacionado con la actividad exportadora.

Analizando el sector agropecuario, el hecho de que el TLCAN fuese el primer Tratado comercial en el mundo que integró en un sólo mercado a dos países desarrollados con una nación en desarrollo, mostró la insuficiencia de las negociaciones, pues estas resultaron asimétricas. En efecto, se incluyó a todo el comercio agropecuario y agroindustrial entre las Partes Contratantes sin distinción, es decir, ningún producto quedó excluido del Tratado y para el caso de México, los márgenes de protección para sus bienes agropecuarios estuvieron muy por debajo de los niveles internacionales. En concreto, el período de transición para la eliminación de aranceles por parte de México a la mayoría de los productos agrícolas procedentes de países del TLC expiraba a finales de 2002. Las únicas excepciones se hicieron con cuatro productos importantes para México, para los que la total eliminación de aranceles se retrasó hasta 2008: maíz, azúcar, leche en polvo y frijoles secos, mientras que Estados Unidos incluyó importaciones provenientes de México de azúcar, cacahuates, concentrado de jugo de naranja congelado y jugo de naranja no concentrado.

El azúcar es socialmente sensible, pues su producción se concentra ampliamente en unos cuantos estados, donde muchos pequeños productores dependen de la producción de la caña de azúcar. Los excedentes de producción mexicana están engrosando peligrosamente los inventarios nacionales al grado de que el precio se desplome o comiencen a generarse los despidos masivos en el sector. El sindicato azucarero considera que se debe exigir el cumplimiento de los acuerdos pactados en el Tratado y que la situación del sector está atravesando un momento crítico, sobre todo a raíz de que la OMC determinara que es improcedente el impuesto que estableció el gobierno de México a los productos elaborados con alta fructosa, lo que propiciará que los productores nacionales se inclinen más por este producto, procedente en su mayoría de Estados Unidos, y se desplace al azúcar nacional. Por ello plantean la necesidad de promover la generación de nuevos productos derivados de la caña, como el etanol.

A pesar de los altibajos que ha enfrentado, la industria azucarera y alcoholera en México, aún mantiene una posición importante en el sector agroindustrial, actualmente se cultivan más de 650 mil hectáreas de caña de azúcar de donde se extrae la materia prima para la fabricación de alcohol etílico. La producción de alcohol etílico en México prácticamente mantiene una tendencia descendente en los últimos diez años, en tanto que la demanda ha crecido considerablemente, por lo que se han tenido que importar cantidades cada vez mayores de alcohol originario de Estados Unidos.

En el crecimiento que han registrado las importaciones en los últimos cinco años, la apertura comercial ha desempeñado un papel importante. Los acuerdos adoptados en el TLCAN permitieron que México desgravara totalmente, aún antes de la entrada en vigor del mismo Tratado, la fracción 22.07.10.01 (Alcohol etílico sin desnaturalizar con un grado alcohólico volumétrico superior o igual a 80% vol.), por lo que Estados Unidos y Canadá pueden exportar libremente a México este tipo de alcohol. La fracción 22.07.20.01 (Alcohol etílico y aguardientes desnaturalizados, de cualquier graduación) se desgravó totalmente en un plazo de cinco años a partir de la entrada en vigor del Tratado, es decir, dicha fracción quedó totalmente liberalizada para las importaciones originarias de Estados Unidos, a partir del 1 de enero de 1998.

En el programa de diversificación de la agroindustria cañera, produciendo etanol para fines tanto energéticos como industriales, es fundamental que se establezca un precio mínimo a la caña de azúcar que se destine a la producción de etanol, tomando en consideración el quebranto de las exportaciones y la conveniencia de no limitar la superficie cañera en cultivo. Además de que los precios dificultan la competitividad del sector, se necesitaría diversificar, reconvertir y hacer eficientes sus procesos, para poder situar la caña de azúcar producida en México de manera competitiva en la apertura total del mercado azucarero, prevista en el TLCAN para aplicarse en 2008. Como ejemplo de esta situación, la conversión melaza-etanol en Brasil tiene una eficiencia del 48% versus 30% como promedio en los procesos mexicanos.

La cuestión de la energía se contempla en el TLCAN en su capítulo sexto, estableciendo disposiciones sobre bienes energéticos y petroquímicos básicos, que incluye carbón y gas de carbón, petróleo crudo y derivados petroleros, gas natural, uranio, electricidad, gases de petróleo propano, butano y etanol y algunos petroquímicos primarios, etileno, propileno, butileno y butadieno. El TLCAN define normas de competencia y abre ciertos mercados de energía con México, respetando el monopolio de PEMEX así como señalando ciertas restricciones; también estimula a los inversionistas con la promesa de que México continuará con la apertura a la inversión extranjera del sector. Con la intención de lograr la desregulación del sector en México, el Tratado aumentó la competitividad integrando un mercado energético de Norteamérica.

El Gobierno de México ha declarado en múltiples ocasiones que no va a privatizar ninguna de las compañías manejadas por el Estado (PEMEX y CFE); no obstante, existe una apertura a la inversión privada para la construcción de plantas en el campo del petróleo o en la generación de energía. Como parte del programa de reestructuración de la industria en los próximos diez años, la posibilidad de agregar la producción de gasolina o etanol de la industria del azúcar es contemplada por el Gobierno, si bien es clave que la rentabilidad de este proceso quede constatada.

7. Bibliografía

Banco de México. 2006. Comunicado de prensa 24 de febrero de 2006 (www.banxico.org.mx)

Banco Interamericano de Desarrollo. Departamento Regional de Operaciones II. 2005. Situación económica y perspectivas. Istmo Centroamericano, México, Haití y República Dominicana, pp. 51-54.

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados: (www.cefp.gob.mx)

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados. 2002. La industria alcoholera de México ante la apertura comercial.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). 2006. Anexo. Fondo Mixto CONACYT – Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Convocatoria 2006-01. Demandas específicas. Área 1. Desarrollo y Transferencia de Tecnología al sector agropecuario y pesquero.

Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2002. Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2002 (www.conapo.gob.mx)

Foro OCDE México. 2004. Políticas agrícolas y el desarrollo de México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI (www.inegi.gob.mx)

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (www.e-local.gob.mx)

Petróleos Mexicanos. 2005. Anuario Estadístico 2005. Comparaciones Internacionales.

Presidencia de la República (www.presidencia.gob.mx)

Secretaría de Economía. Subsecretaría de Negociaciones Comerciales Internacionales: (www.economia-snci.gob.mx)

Secretaría de Energía. 2004. Balance nacional de energía 2004.

Secretaría de Energía. 2005. Prospectiva de petrolíferos 2005-2014.

Secretaría de Energía. 2005. Prospectiva del mercado de gas natural 2005-2014.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Bases de datos del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales

The World Bank Group. 2003. GenderStats Database of gender statistics. (http://devdata.worldbank.org/genderstats/home.asp)

Vázquez Domínguez, E. 2006. Conferencia Comentarios acerca de la situación petrolera actual. Área de refinación.

Task 2 & Task A: Mexico's energy picture with regard to bioethanol and biodiesel

Nicolás Rodríguez Martínez

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

Índice

1. Introducción

2. Balance Nacional de Energía

3. Legislaciones y regulaciones que afectan el mercado de energía

4. Evolución de la oferta y demanda de combustibles líquidos (gasolinas y diesel) para el transporte en el período 2000-2005

4.1 Evolución de la oferta y demanda de gasolinas

4.2 Evolución de la oferta y demanda de diesel

5. Instalaciones petroleras

5.1 Sistema Nacional de refinación (SNR)

5.2 Rendimientos de producción observados en el SNR

6. Capacidad instalada de la producción de éteres para la oxigenación de gasolinas en el SNR

7. Evolución de los precios de importación de gasolinas y componentes

8. Mecanismo para la determinación de los precios al público de los combustibles para el transporte

9. Escenarios para la evaluación de la factibilidad del empleo de los biocombustibles

9.1 Escenarios del Bioetanol

9.1.1 Pronóstico de demanda de gasolinas para el período 2006-2014

9.1.2 Contenido máximo de oxígeno de los compuestos oxigenados

9.1.3 Consumo de metanol y etanol para la producción de éteres

9.1.4 Pronóstico de demanda de compuestos oxigenados para el período 2006-2014

9.1.5 Inversiones para la conversión de las instalaciones actuales de producción de éteres en el SNR

9.1.6 Implicaciones de la formulación de mezclas de etanol con gasolinas

9.2 Escenarios del Biodiesel

9.2.1 Pronóstico de demanda de diesel en período 2006-2014

9.2.2 Implicaciones del mezclado de biodiesel con diesel del petróleo

9.2.3 Evaluación de la viabilidad económica

9.2.4 Pronóstico de demanda de biodiesel

10. Conclusiones y recomendaciones

10.1 Recomendaciones

10.1.1 Bioetanol

10.1.2 Biodiesel

10.2 Conclusiones

10.2.1 Selección de precios para la evaluación técnico-económica de la viabilidad del proyecto de biocombustibles

10.2.2 Consumo estimado de bioetanol en cada escenario

10.2.3 Consumo estimado de biodiesel en cada escenario

11. Bibliografía

11.1 Sitios en internet

11.2 Presentaciones

11.3 Documentos electrónicos

1. Introducción

La Secretaría de Energía (SENER) en conjunto con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ), invitaron al Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), a colaborar en el estudio para determinar la viabilidad del empleo de biocombustibles en México.

Al IMP se le asignó la actividad 2 concerniente al tema del consumo de energía en México, en particular la destinada al transporte, para ello se incluyó dentro de las tareas el análisis del balance de energía nacional, las leyes y reglamentos que se aplican al sector de los hidrocarburos.

Además, se requirió analizar la evolución de la oferta y demanda de los combustibles para el transporte en los últimos cinco años, el volumen y composición del crudo procesado en las refinerías mexicanas, los rendimientos de los derivados del petróleo obtenidos y la situación de la producción de éteres empleados en la formulación de las gasolinas.

Para establecer la factibilidad del empleo de biocombustibles se establecieron tres diferentes escenarios, a través de los cuáles se determinaron las necesidades de suministro tanto de compuestos oxigenados como de biodiesel, tomando como referencia los pronósticos de ventas de gasolinas y diesel proporcionados por PEMEX Refinación, para con toda información establecer los volúmenes de biocombustibles que podrían requerirse en México.

Con toda esta información se establecen una serie de recomendaciones de acciones que se deberían llevar a cabo como complemento a las evaluaciones realizadas, las cuáles tienen como objetivo establecer con precisión todas aquellas implicaciones que se derivarían del empleo de los biocombustibles.

2. Balance Nacional de Energía

El balance nacional de energía del año 2004, publicado en el sitio de la Secretaría de Energía (SENER), www.energía.gob.mx, indica que en términos de la producción de energía primaria, ésta está sustentada en los hidrocarburos, situación similar se refleja en el mercado de exportación de la misma, en donde el petróleo crudo ocupa el mayor nivel de participación.

Por el lado del comercio exterior neto de energía secundaria, los rubros de mayor contribución a la oferta nacional corresponden a las gasolinas y el gas natural, seguido del gas licuado del petróleo.

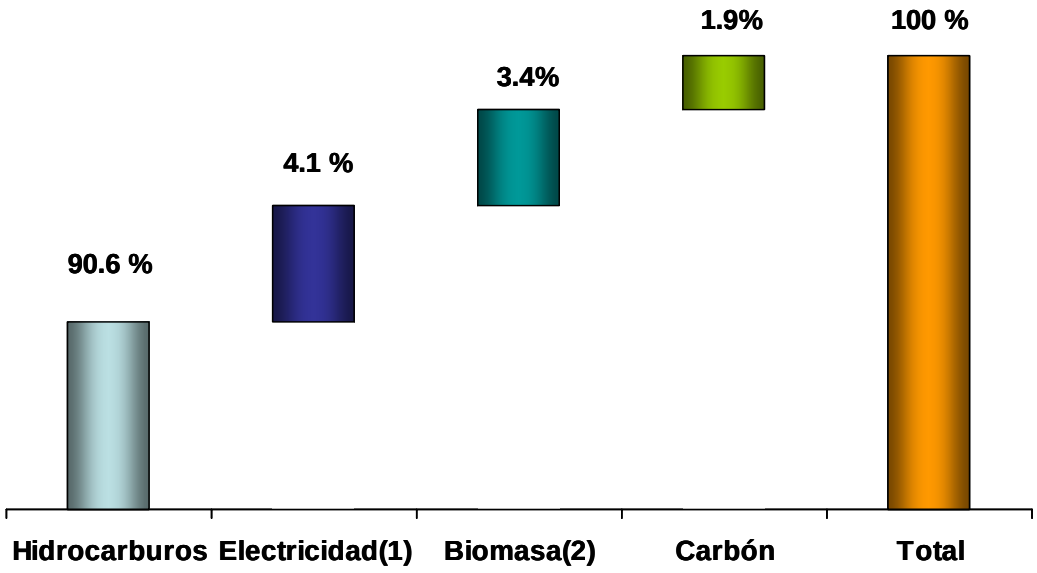
Por el lado de consumo total final de energía, los resultados nos indican que el uso energético se sitúa en el 93.6 por ciento; en éste se incluye el sector residencial, comercial y público, el de transporte, el industrial y el agrícola. La diferencia 6.4 por ciento, se destina al no energético, en donde su destino son los centros de transformación de PEMEX Petroquímica y otras industrias que emplean como materia prima.

En términos del consumo final energético los derivados del petróleo (gasolinas, diesel, gas lp, gas natural, combustóleo, coque del petróleo y querosenos), toman cerca del 76 por ciento de la demanda; la diferencia 24 por ciento está siendo atendida por la leña, el bagazo de caña, el coque de carbón y el carbón. En el sector no energético, la distribución por área de consumo se ubica de la siguiente manera: el residencial, comercial y público ocupan el 21 por ciento, el del transporte el 46 por ciento, el industrial el 30 por ciento y el agrícola el 3 por ciento.

Así en el sector transporte las gasolinas y el diesel se emplean en el 90.5 por ciento y la diferencia; 9.5 por ciento utilizan querosenos, combustóleo, gas lp y electricidad.

En las figuras 1.1 a 1.10, así como en las tablas 1.1 a 1.4 se presenta la información detallada de lo descrito en los párrafos anteriores sobre el balance de energía.

Figura 1.1 Estructura de la Producción de Energía Primaria



Notas:

Fuente Sistema de Información Energética (SIE) SENER

(1) Incluye: hidroenergía 2.5%, nucleoenergía 1.0%, geoenergía 0.6% y energía eólica (no significativa) evaluados en su equivalente primario.

(2) Incluye: leña 2.5% y bagazo de caña 0.0%.

Tabla 1.1 Contribución por Fuente a la Producción de Energía Primaria

Fuente	Contribución, petajoules
Carbón	**198.847**
Hidrocarburos:	**9,359.645**
Petróleo crudo	7,432.559
Condensados	178.345
Gas no asociado	564.511
Gas asociado	1,184.230
Electricidad primaria:	**421.809**
Nucleoenergía	100.634
Hidroenergía	254.391
Geoenergía	66.722
Energía eólica	0.061
Biomasa:	**350.474**
Bagazo de caña	92.053
Leña	258.411
Total:	**10,330.774**

Tabla 1.2 Comercio Exterior de Energía Primaria

Exportaciones, petajoules		**Importaciones, petajoules**	
Fuente	**Contribución**	**Contribución**	**Saldo neto**
Carbón	0.032	109.149	- 109.117
Petróleo crudo	4,338.100	0.000	+ 4,338.100
Condensados	2.456	0.000	+ 2.456
Totales	**4,340.588**	**109.149**	**+ 4,231.468**

La oferta interna de energía interna bruta, es el resultado de la oferta total menos las exportaciones, la energía no aprovechada y las operaciones de maquila-intercambio neto.

Figura 1.2 Oferta Interna de Energía Bruta (petajoules)

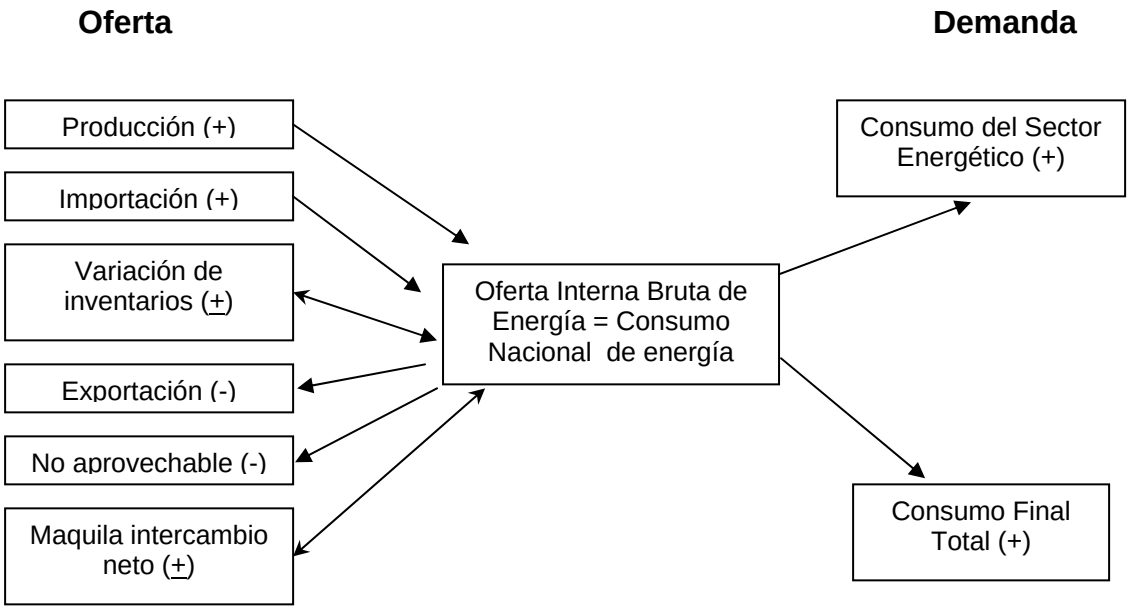


Tabla 1.3 Oferta Interna de Energía Bruta

Fuente	Producción
Carbón	**292.358**
Hidrocarburos:	**4,985.736**
Petróleo crudo	3,107.801
Condensados	175.717
Gas no asociado	547.707
Gas asociado	1,154.511
Electricidad primaria:	**421.809**
Nucleoenergía	100.634
Hidroenergía	254.391
Geoenergía	66.722
Energía eólica	0.061
Biomasa:	**349.469**
Bagazo de caña	91.058
Leña	258.411
Total	**6,049.372**

Tabla 1.4 Comercio Exterior de Energía Secundaria

Fuente	Exportaciones	Importaciones	Saldo Neto
Coque carbón	0.047	14.011	**- 13.963**
Coque de petróleo	0.000	64.742	**- 64.742**
Gas licuado	0.340	118.079	**- 117.740**
Gasolinas y naftas	148.759	374.481	**- 225.722**
Querosenos	13.775	0.000	**13.775**
Diesel	16.209	7.739	**8.470**
Combustóleo	140.663	67.348	**73.315**
Productos no energéticos	6.145	0.000	**6.145**
Gas natural	0.000	401.680	**- 401.680**
Electricidad	0.622	0.169	**3.452**
Total	**329.560**	**1,048.29**	**- 718.688**

Figura 1.3 Consumo Final Total de Energía (petajoules)

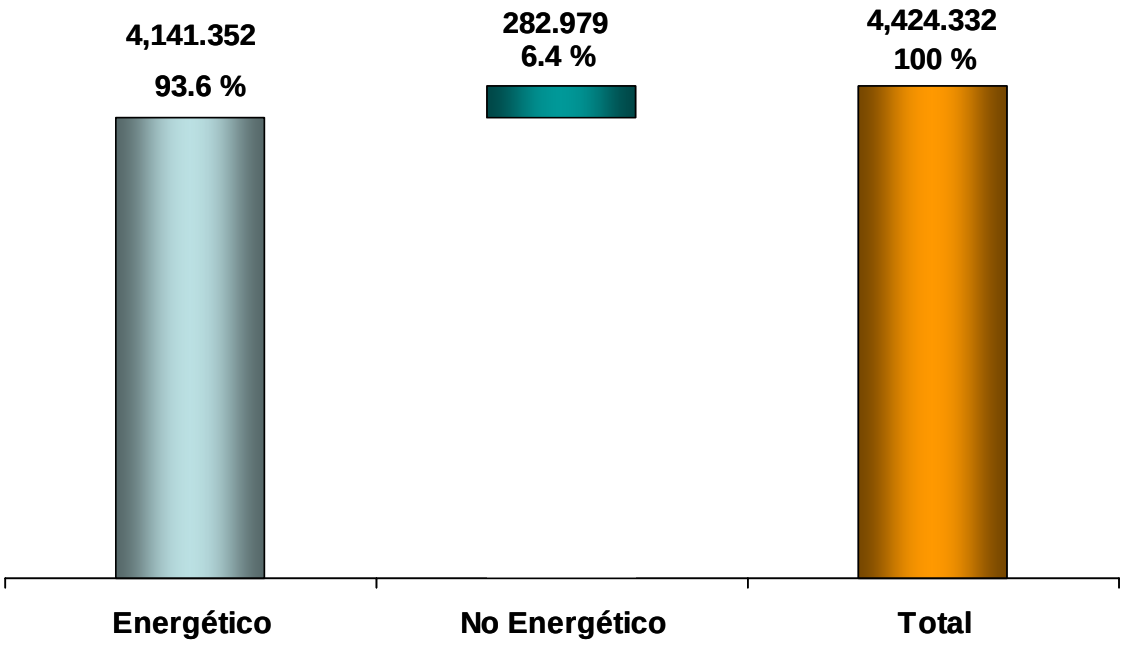


Figura 1.4 Consumo Final Energético por Tipo de Fuente

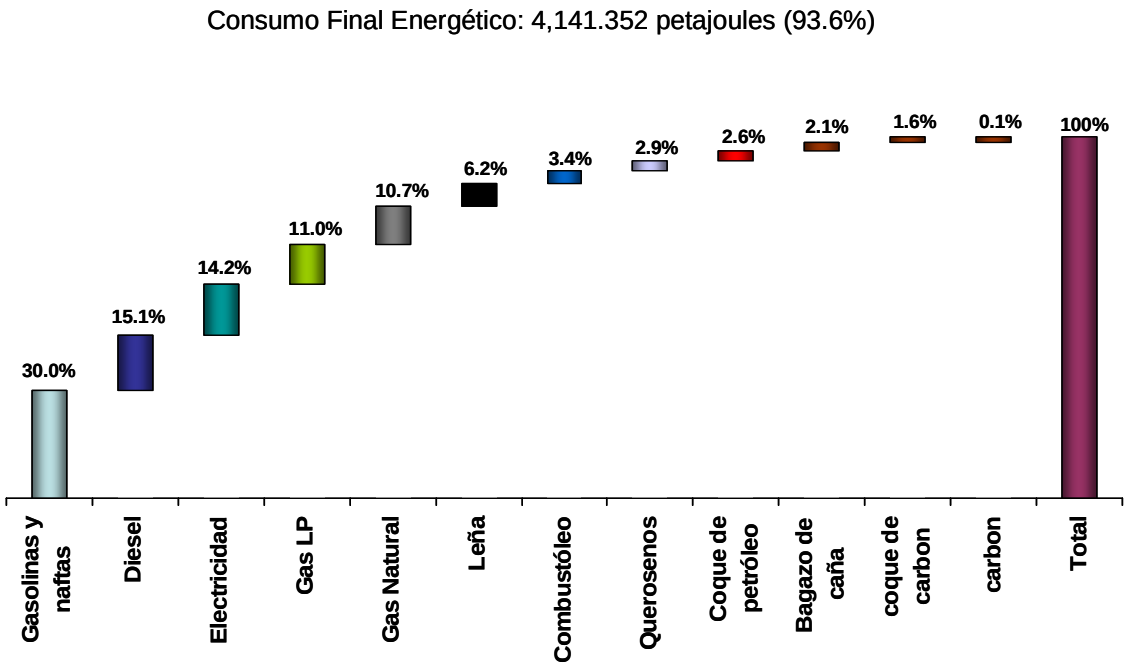


Figura 1.5 Consumo Final Energético por Sector

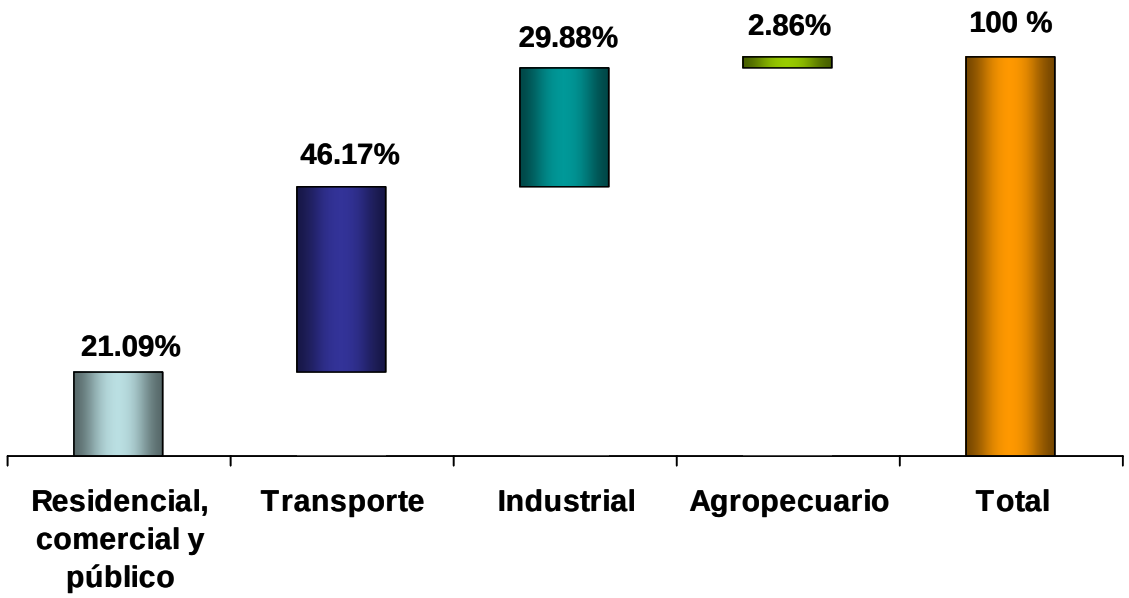


Figura 1.6 Consumo Final Energético: Sector Residencial (873.447 petajoules)

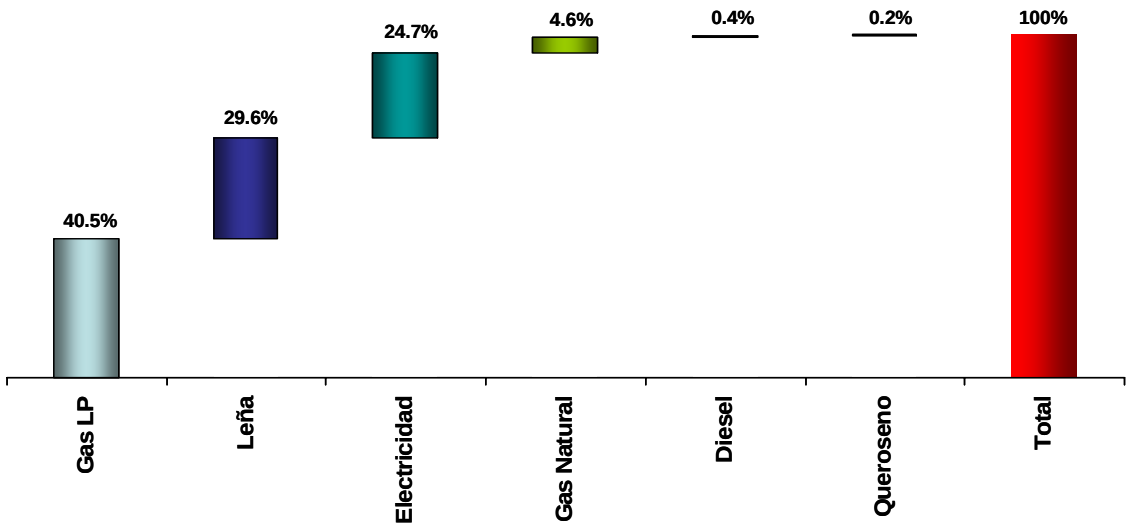


Figura 1.7 Consumo Final Energético: Sector Transporte (1,911.881 petajoules)

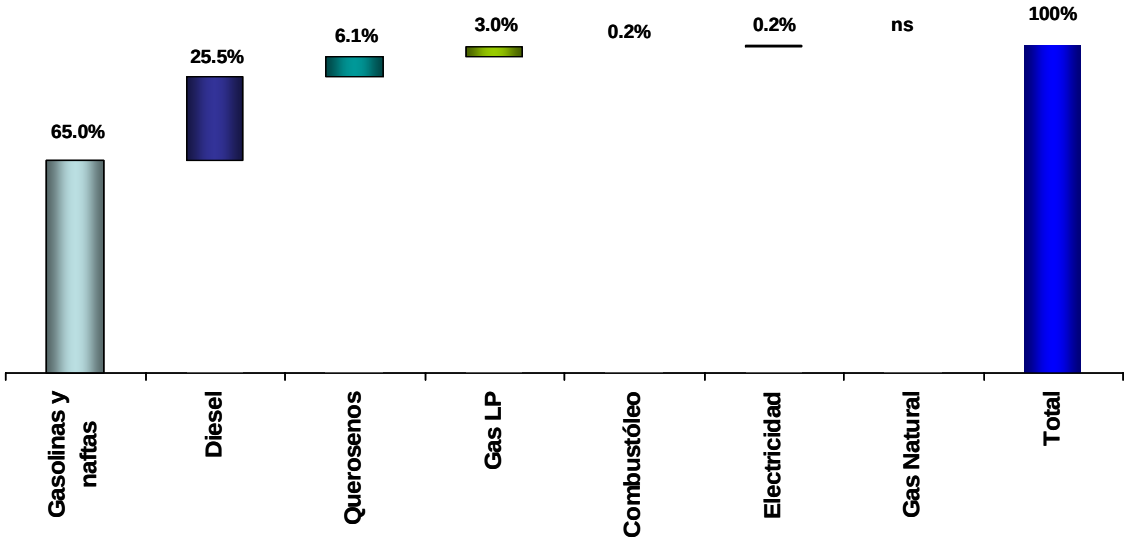


Figura 1.8 Consumo Final Energético: Sector Industrial (1,237.420 petajoules)

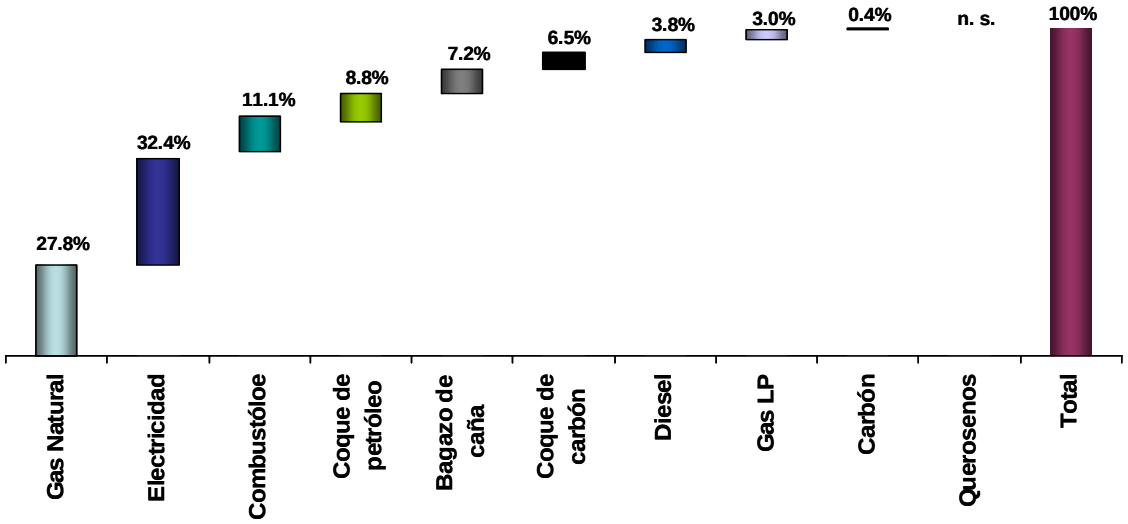


Figura 1.9 Consumo Final Energético: Sector Agrícola (118.804 petajoules)

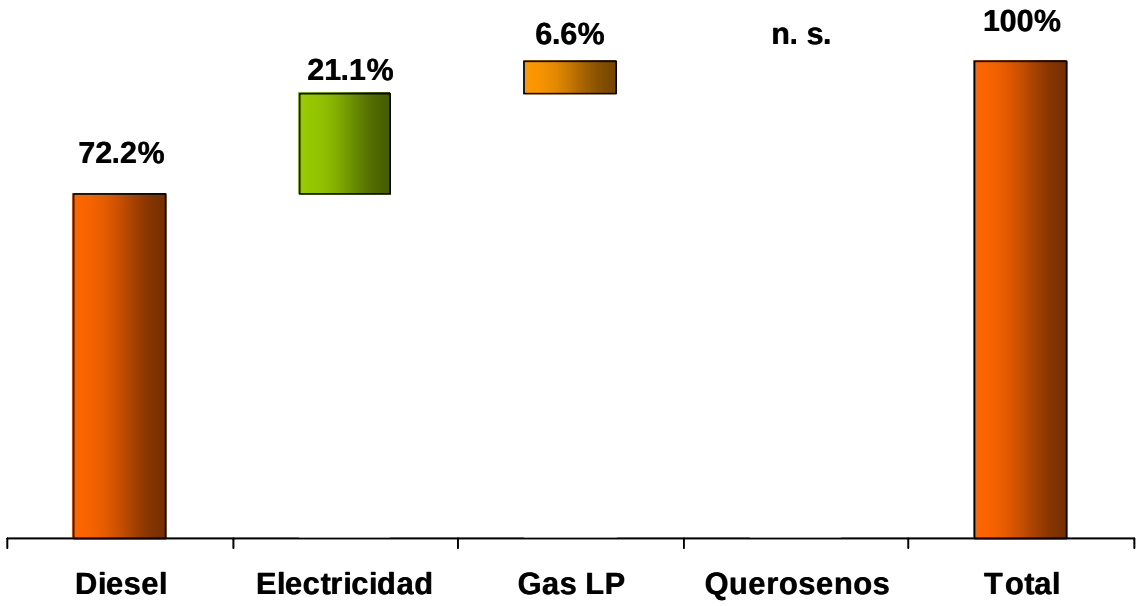
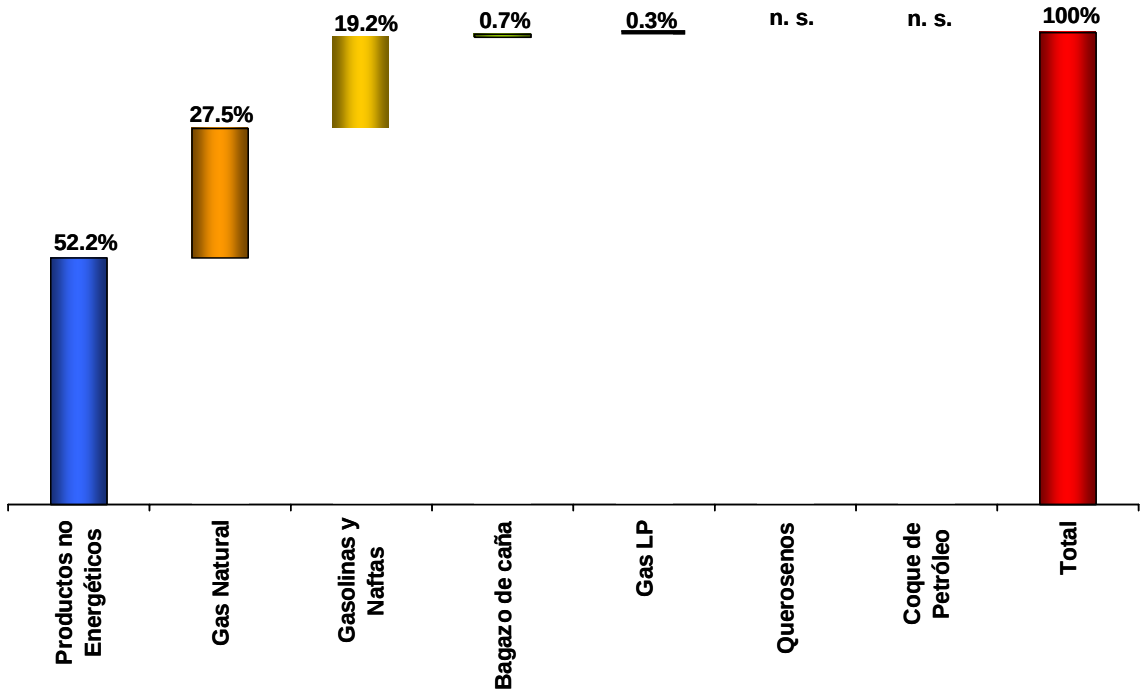


Figura 1.10 Consumo Final No Energético por Tipo de Fuente (282.979 petajoules)



3. Legislaciones y Regulaciones que Afectan el Mercado de la Energía

En términos de legislaciones y regulaciones aplicables al mercado energético mexicano, se pueden citar las siguientes:

- Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo
- Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS)
- Ley del Impuesto al Valor Agregado (IVA)
- Ley de Energía para el Campo

- Proyecto de Decreto de la Ley para el Desarrollo y Promoción de Bioenergéticos
- NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental

Estas regulaciones establecen las actividades de ejercicio exclusivo del Estado Mexicano por mandato constitucional, las correspondientes a los gravámenes aplicables a la

comercialización en el territorio nacional y la importación de los combustibles derivados del petróleo (gasolinas y diesel), los apoyos otorgados para el consumo de los combustibles en las actividades agropecuarias, el proyecto sobre el desarrollo de los bioenergéticos, así como las especificaciones presentes y futuras que deberán cumplir todos los energéticos obtenidos de fuentes fósiles, los cuáles se emplean tanto en las fuentes fijas (industria y servicios) como en las móviles (vehículos a gasolina y a diesel, combustibles para aviación, etc.).

Todas éstas tienen un impacto en diferentes ámbitos del sector energía. En el caso de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional, se vincula a la facultad del estado para la transformación del petróleo crudo en la industria de refinación, así como en el transporte, distribución y venta de primera mano de los productos obtenidos de la misma.

Si bien el etanol proviene del sector agrícola, su empleo en forma directa como combustible no estaría supeditado a estas regulaciones. No así la mezcla de etanol con gasolina (en cualquiera de sus proporciones), la cual sólo puede llevarla a cabo Petróleos Mexicanos (PEMEX), a través de su Organismo Subsidiario PEMEX Refinación, quién en primer lugar es responsable de la elaboración, transporte, almacenamiento, distribución y las ventas de primera mano de los derivados del petróleo, y además es el propietario y administrador de la Franquicia PEMEX, así como el único suministrador de los combustibles que se comercializan en la estaciones de servicio en el país.

La Ley del IEPS y el IVA, se aplican a la comercialización de las gasolinas y el diesel que se expenden en la red de estaciones de servicio, así como a las importaciones de éstos productos.

En la Ley del IEPS en su artículo 2o.-A, establece que los precios de referencia de las gasolinas y el diesel importados se ajustaran por la calidad correspondiente, al producto de esta operación se deberán sumar los costos de manejo y el costo neto de transporte a las agencias de ventas de que se trate, éstos valores que se obtengan no incluirán el IVA.

En este contexto, la citada legislación establece en el articulo 2º, inciso B que el alcohol (solución acuosa de etanol con impurezas que lo acompañan con graduación mayor a 55 grados Gay Lussacc, a una temperatura de 15 °C), alcohol desnaturalizado (solución acuosa de etanol con las impurezas que la acompañan, con una graduación mayor a 55 grados Gay Lussacc, a una temperatura de 15 °C, con la adición de la sustancias desnaturalizantes autorizadas por la Secretaría de Salud) y las mieles incristalizables tienen un gravamen de 50 por ciento.

La Ley de Energía para el Campo establece las reglas para el otorgamiento de apoyos a las actividades agropecuarias, en donde se incluye la agricultura, la ganadería, silvicultura, acuacultura y la pesca ribereña. A través de ésta la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), establece las cuotas energéticas a cada una de las actividades mencionadas para cada ciclo productivo, las cantidades que serán sujetas a este tratamiento se establecen en el Reglamento que para tal efecto emitió la Secretaría.
Con relación al decreto de la Ley para la Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos dictaminada y aprobada en la Cámara de Diputados, la cual se encuentra en proceso de revisión en la Cámara de Senadores, en ella se establece la utilización de una concentración máxima de 10 por ciento en volumen de bioetanol en la formulación de las gasolinas a nivel

nacional, determinando para ello la necesidad de evaluar y cuantificar la inversiones en infraestructura productiva, así como los requerimientos de apoyos para la consolidación y viabilidad de esta iniciativa, buscando en todo momento el desarrollo agrícola nacional aparejado a esta medida.

En la NOM-086 publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) del 30 de enero de 2006, se definen las especificaciones que deberán cumplir cada uno de los parámetros tanto de las gasolinas (PEMEX Magna y Premium), así como el diesel para servicio automotriz (PEMEX Diesel) y el destinado a servicio marino y agrícola.

En el caso de las gasolinas, en particular la PEMEX Magna comercializadas en las Zonas Metropolitanas de Guadalajara (ZMG), de Monterrey (ZMMTY) y del Valle de México (ZMVM), la norma establece que deberán contener en su fórmula un valor máximo de oxígeno de 2.7 por ciento en peso; además esta concentración se especifica a nivel nacional para la PEMEX Premium, sin establecer el tipo de compuesto empleado para tal fin pero si la necesidad de reportarlo.

La PEMEX Magna que se comercializa en las zonas metropolitanas antes citadas y la PEMEX Premium, actualmente se oxigenan con éter metil terbutílico y el éter metil teramílico (conocidos por sus siglas en inglés como MTBE y TAME) obtenidos en las refinerías y el déficit registrado se obtiene vía importaciones por medio de MTBE, producto ampliamente ofertado en el mercado internacional, no así el TAME cuya obtención es muy limitada por la escasa disponibilidad de la materia prima empleada para su producción (isoamilenos).

Por todo lo expuesto, será necesario efectuar un análisis más profundo de las modificaciones que se requerirán en las leyes del IEPS, IVA y del proyecto de Bioenergéticos, para lograr la viabilidad del empleo de etanol en la formulación de las gasolinas. En este contexto habría que determinar los apoyos para las inversiones en infraestructura de producción, almacenamiento y distribución, así como los impactos en los costos de adquisición y de los productos finales.

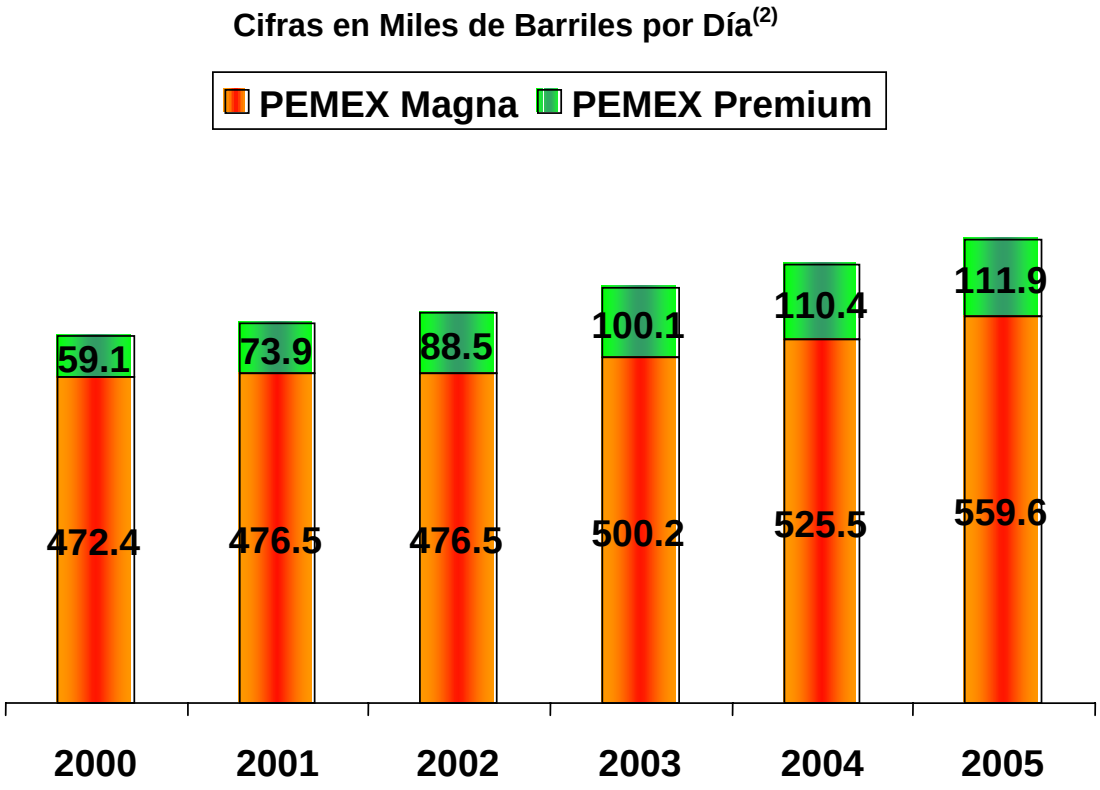
4. Evolución de la Oferta y Demanda de Combustibles Líquidos para el Transporte

4.1 Evolución de la Oferta y Demanda de Gasolinas en el Período 2000-2005

En este apartado se presenta la evolución de la oferta y demanda de los dos tipos de gasolinas que se comercializan en el país (PEMEX Magna y Premium), en el período bajo estudio. Cabe mencionar que la producción interna corresponde a la obtenida del proceso del crudo en las refinerías más el producto de retorno (es decir, los combustibles líquidos que se reciben como resultado del envío de crudo pesado tipo Maya a la refinería ubicada en Deer Park, Texas), por lo cual no se contabiliza en las importaciones registradas.

La evolución de las ventas internas de ambos productos se muestra en la figura 2.1

Figura 4.1 Ventas Internas de Gasolinas [(1)], 2000-2005



Fuente:
(1) www. pemex.com.mx, Indicadores Petroleros, Enero 2006.
(2) I barril equivale a 42 galones o 159 litros

La oferta de gasolinas pasó de estar conformada por un 11.1 por ciento de PEMEX Premium y la diferencia, 88.9 por ciento de PEMEX Magna en el año 2000; a un 16.7 por ciento y 83.3 por ciento respectivamente en el 2005.

La tasa media de crecimiento anual de la demanda para el período bajo estudio registró un valor de 5.1 por ciento; mientras que la producción reportó un valor de 3.9 por ciento; por otro lado, las importaciones registraron un aumento de 5.7 por ciento y el producto de retorno de maquila un 10.3 por ciento, con lo cual se logró el abasto de éstos energéticos.

En términos regionales, la demanda de gasolinas de las Zonas Metropolitanas (ZMG, ZMMTY y ZMVM), ocuparon en el período con el 30 por ciento de la oferta nacional y el 70 por ciento restante correspondió al Resto del País (RP). Con referencia a la oferta nacional, ésta registró un aumento anualizado de 4.8 por ciento.

La tasa media de crecimiento anual de la demanda en estas regiones fue la siguiente: 1.2, 4.3, 4.2 y 5.9 por ciento, ubicadas en las ZMG, ZMMTY, ZMVM y el RP, respectivamente.

Por el lado de la demanda de compuestos oxigenados, las ventas acumuladas en el período registraron los siguientes datos:

- En el caso de la PEMEX Magna de las Zonas Metropolitanas, la oferta paso de 176 Miles de Barriles por Día (MBD) en 2000 a 197.4 MBD (un barril equivale a 42 galones o 159 litros) en 2005, asumiendo un contenido promedio máximo de oxígeno de 1.5 por ciento en peso, correspondería a una demanda de MTBE del orden de 14.6 a 16.4 MBD, respectivamente.
- Para la PEMEX Premium, la demanda del RP pasó de 39.1 en 2000 a 78.2 MBD en 2005, lo que requirió para su formulación en términos de MTBE de 3.3 a 6.6 MBD, respectivamente.

En suma la demanda nacional de compuestos oxigenados para atender los requerimientos especificados pasó de 17.9 a 23.0 MBD, lo que representa un incremento de 28.5 por ciento.

La capacidad de producción de éteres (MTBE + TAME) en el Sistema Nacional de refinación (SNR), en el período bajo estudio fue de 15.6 MBD, lo que da como resultado para el año 2005, un déficit de cerca de 7.4 MBD.

Como puede observarse todos estos cambios en la estructura de la demanda de gasolinas, ha originado un desbalance en la producción del barril-octano necesario para satisfacerla, situación que se ha venido traduciendo en un incremento de las importaciones de gasolinas y componentes para su formulación.

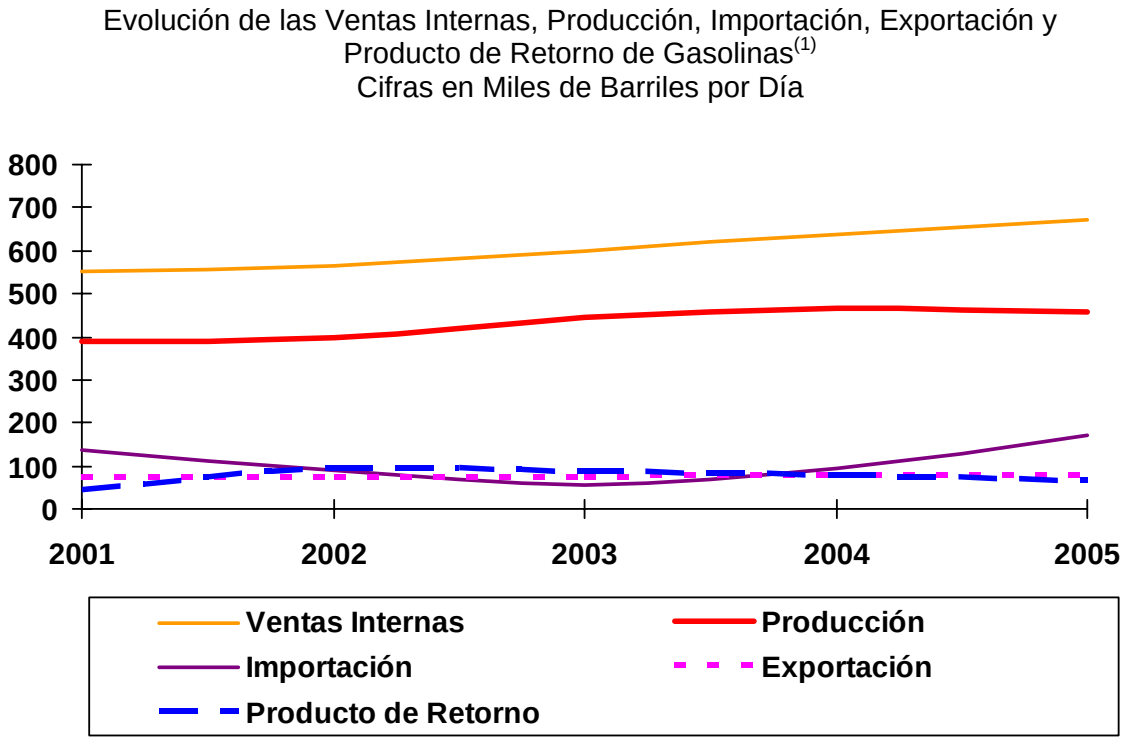
En términos de su calidad, las gasolinas de la ZMVM (Magna y Premium) presentan las especificaciones más exigentes, fijándose los siguientes valores: azufre 500 partes por millón en peso (ppmw) máximo y un promedio de 300 ppmw, sus límites máximo de olefinas, aromáticos y benceno son 10, 25 y 1, respectivamente, así como un rango de presión de vapor Reíd (PVR) a lo largo de todo el año de 45 a 54 kPa (equivalente a un intervalo de 6.5 a 7.8 libras por pulgada cuadrada -psi-) y un contenido máximo de oxígeno de 2.7 por ciento en peso (equivalente a 15 por ciento en volumen de MTBE).

Para el caso de la ZMG y ZMMTY el contenido de azufre es el mismo que en la ZMVM, los valores establecidos para su composición en aromáticos, olefinas y benceno, 35, 12.5 y 1 por ciento en volumen máximo, respectivamente. Los energéticos comercializados en la ZMG tienen durante todo el año establecido el mismo rango de PVR que los del Valle de México; en el caso de la ZMMTY este parámetro se fija de acuerdo a la estacionalidad del clima en la región. Estos límites son de aplicación en ambas gasolinas y también se especifica un contenido máximo de oxígeno de 2.7 por ciento en peso.

En las gasolinas que se ofertan para el RP, las características más relevantes para la PEMEX Premium son las siguientes: aromáticos, olefinas y benceno, 32, 15 y 2 por ciento en volumen máximo, de oxígeno de 1 a 2.7 por ciento en peso; azufre 300 máximo y 250 promedio ppmw. En el caso de la PEMEX Magna la especificación establece: benceno 4.9 máximo, azufre 1000 ppmw y la PVR se fija con la estacionalidad del clima de cada región del país.

El balance de oferta y demanda se muestra en la figura 4.2

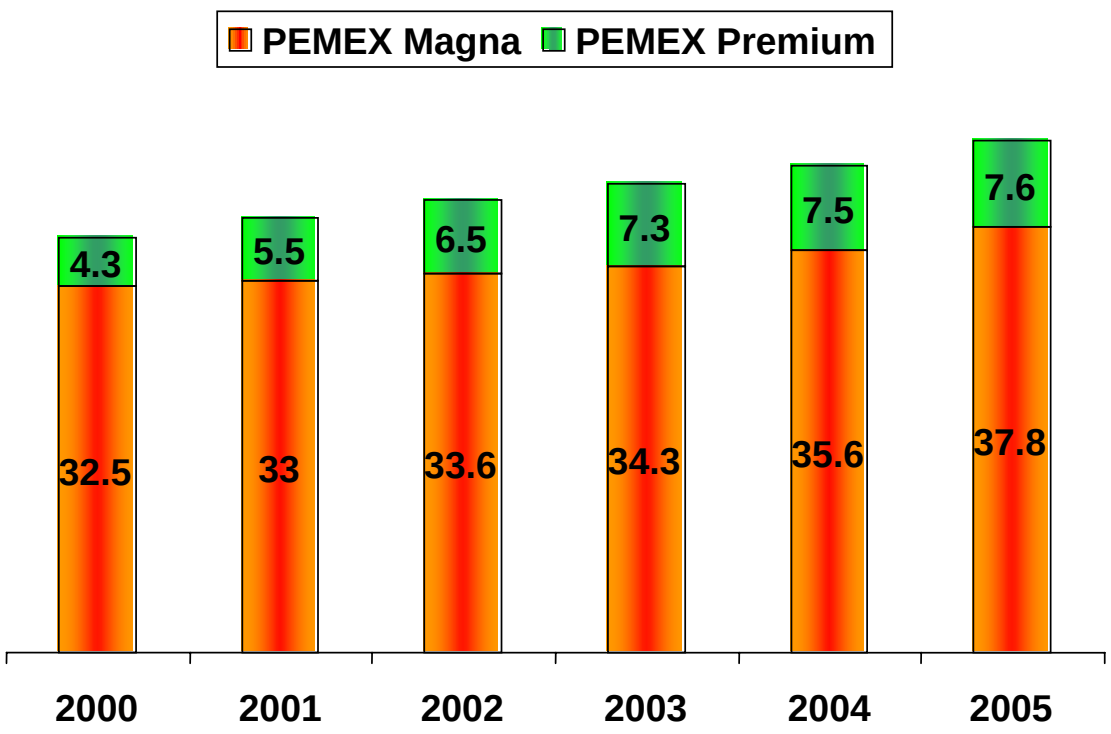
Figura 4.2 Evolución de la Oferta y Demanda de Gasolinas



Fuente:
(1) www.pemex.com, Indicadores Petroleros, enero 2006.

En las figuras 4.3 a 4.6, se presentan de manera segregada la evolución de las ventas de gasolinas en México.

Figura 4.3 Evolución de la Ventas de Gasolinas en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) (1)

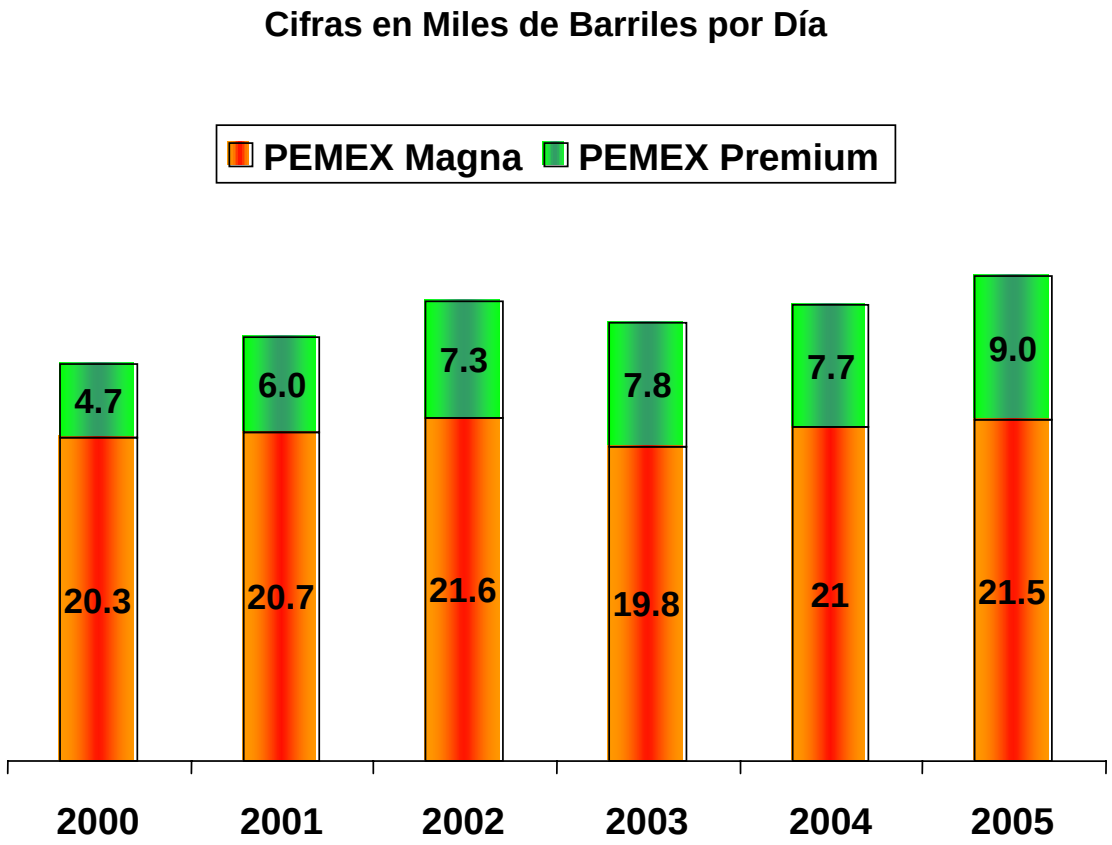


Fuente:

(1) Fuente: Pemex Refinación

(2) I barril equivale a 42 galones o 159 litros

Figura 4.4 Evolución de la Ventas de Gasolinas en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMMTY [1])

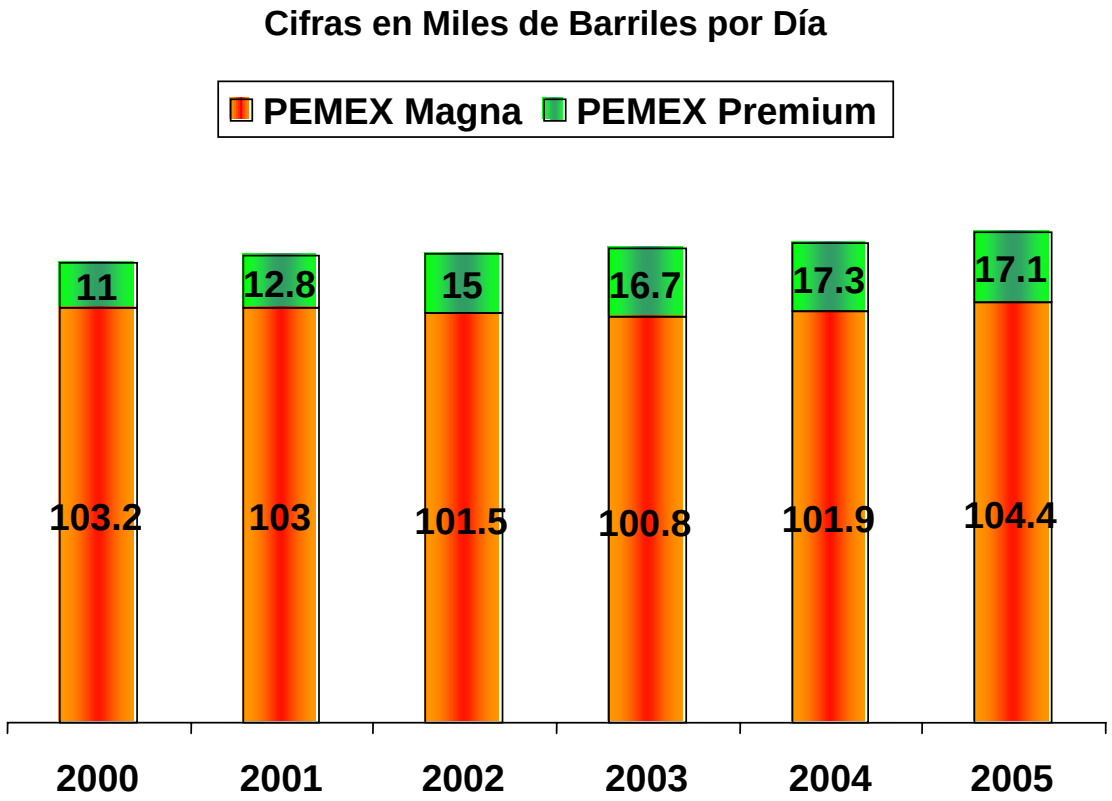


Fuente:

(1) Fuente: Pemex Refinación

(2) I barril equivale a 42 galones o 159 litros

Figura 4.5 Evolución de la Ventas de Gasolinas en la Zona Metropolitana de Valle de México (ZMVM) (1)

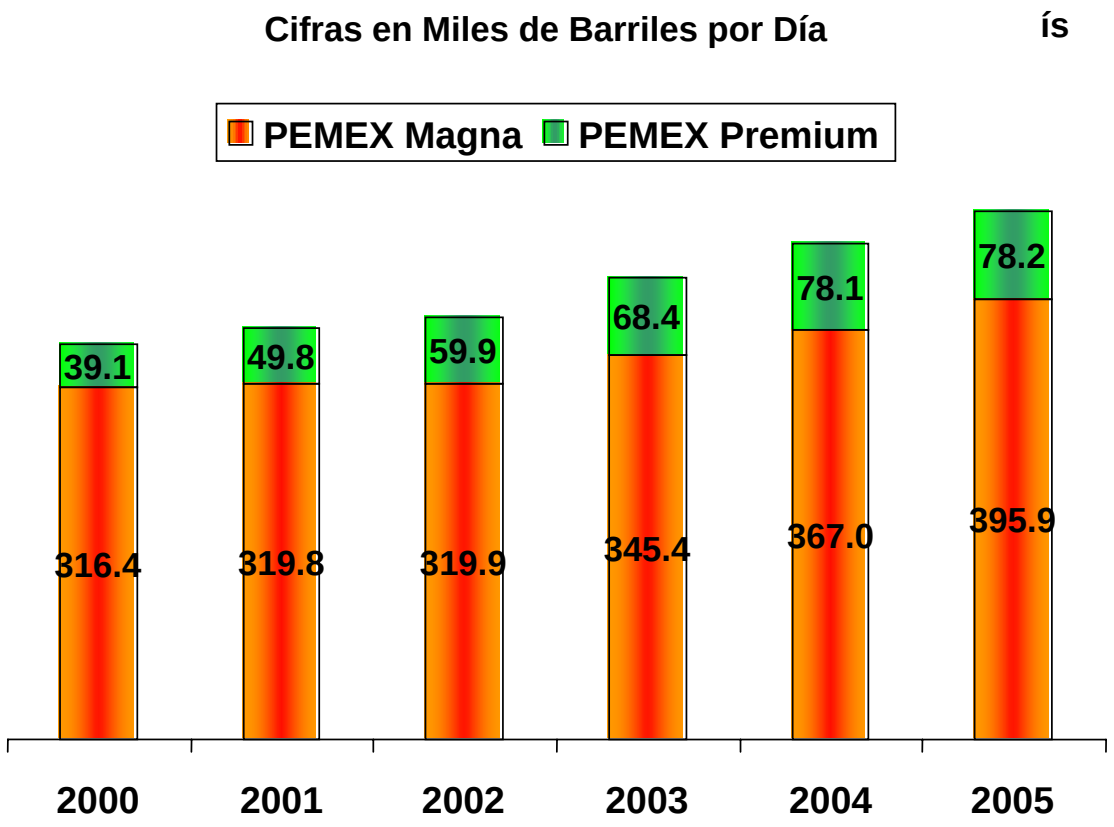


Fuente:

(1) Fuente: Pemex Refinación

(2) I barril equivale a 42 galones o 159 litros

Figura 4.6 Evolución de la Ventas de Gasolinas en el Resto del País (RP) (1)



Fuente:

(1) Fuente: Pemex Refinación

(2) I barril equivale a 42 galones o 159 litros

4.2 Evolución de la Oferta y Demanda de Diesel en el Período 2000-2005

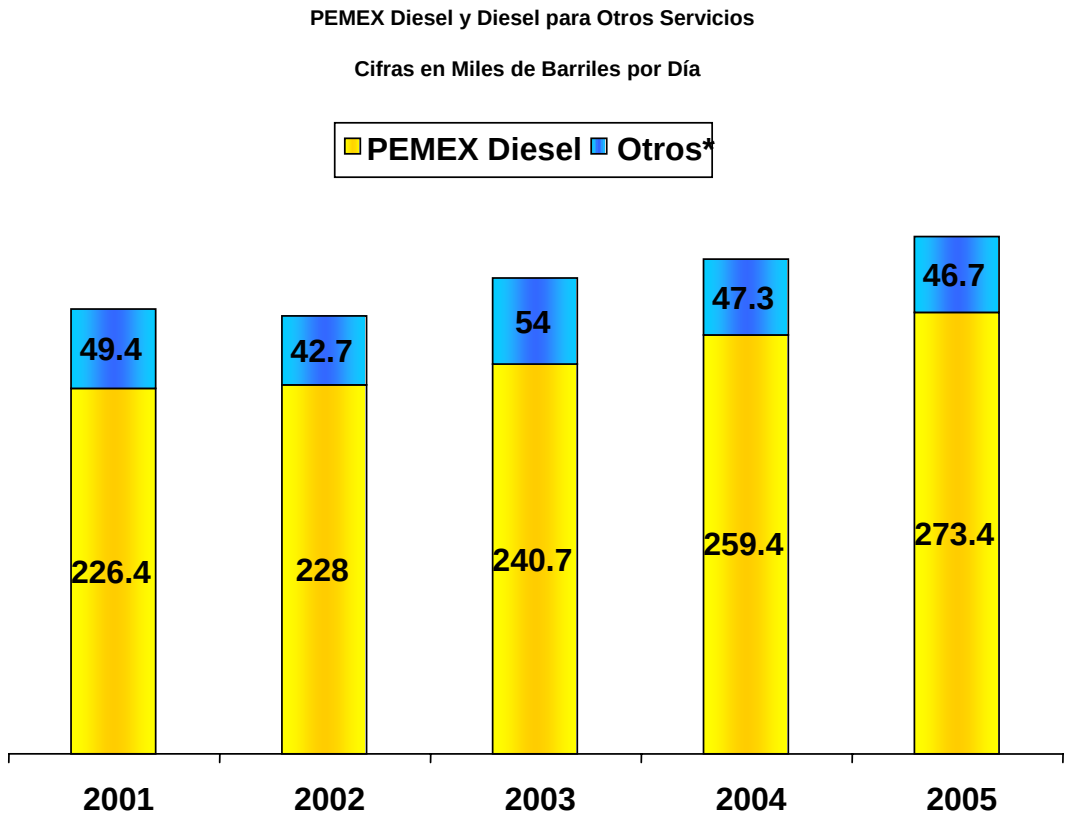
En este rubro en el país se comercializan los siguientes productos:

- PEMEX Diesel, es el producto destinado al uso automotriz
- Diesel Industrial de Bajo Azufre, para el empleo en equipos de combustión a flama abierta
- Diesel Marino
- Diesel Agrícola

La diferencia principal entre el combustible para uso automotriz y los destinados al servicio agrícola y marino son su contenido de azufre y su índice de cetano; con el de uso industrial la única diferencia es el contenido de azufre.

La evolución de la demanda de diesel se muestra en la figura 4.7

Figura 4.7 Evolución de la Ventas Internas de Diesel [(1)], 2000-2005



PEMEX Diesel: Producto para uso automotriz

Otros*: se refiere al uso agrícola, marino e industrial

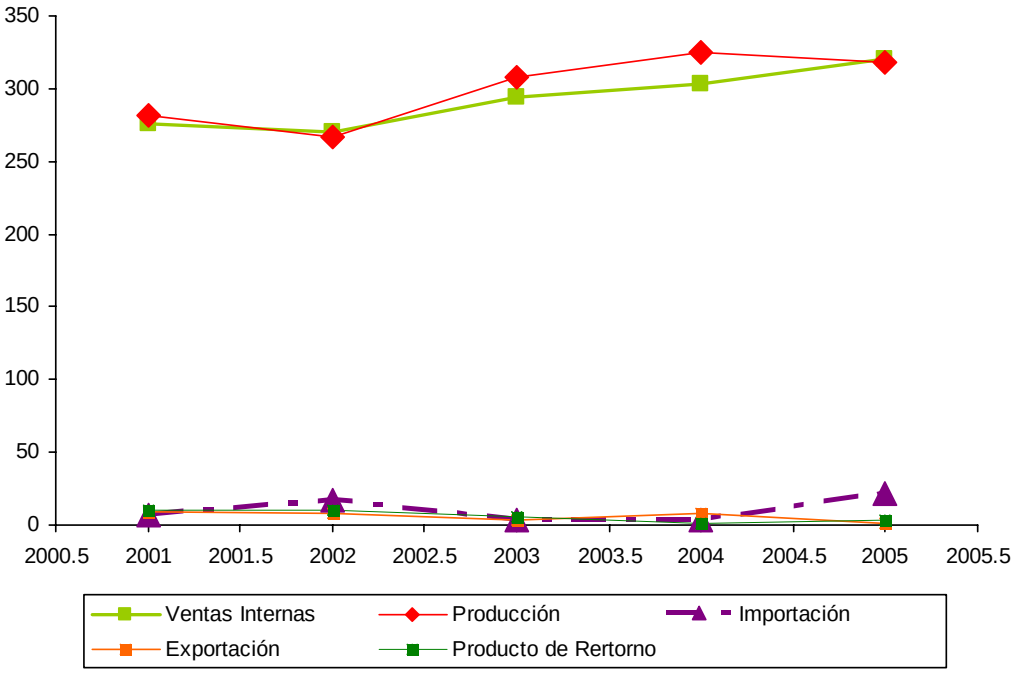
Fuente:
(1) www.pemex.com, Indicadores Petroleros, enero 2006.

La demanda de diesel en México creció en el período estudiado a un ritmo de 2.4 por ciento por año; denotando el mayor aumento la del producto destinado al servicio automotriz el cual registró un valor de 3.6 por ciento anual.

Cabe mencionar que a nivel nacional sólo se comercializa una calidad única para el uso automotriz, la que actualmente presenta entre sus características más relevantes un contenido de azufre de 300 partes por millón en peso (ppmw), un índice de cetano mínimo de 48 y un valor máximo de aromáticos de 30 por ciento.
En las figuras 4.8 a 4.12, se muestra la oferta desagregada del diesel consumido en México en el período bajo estudio.

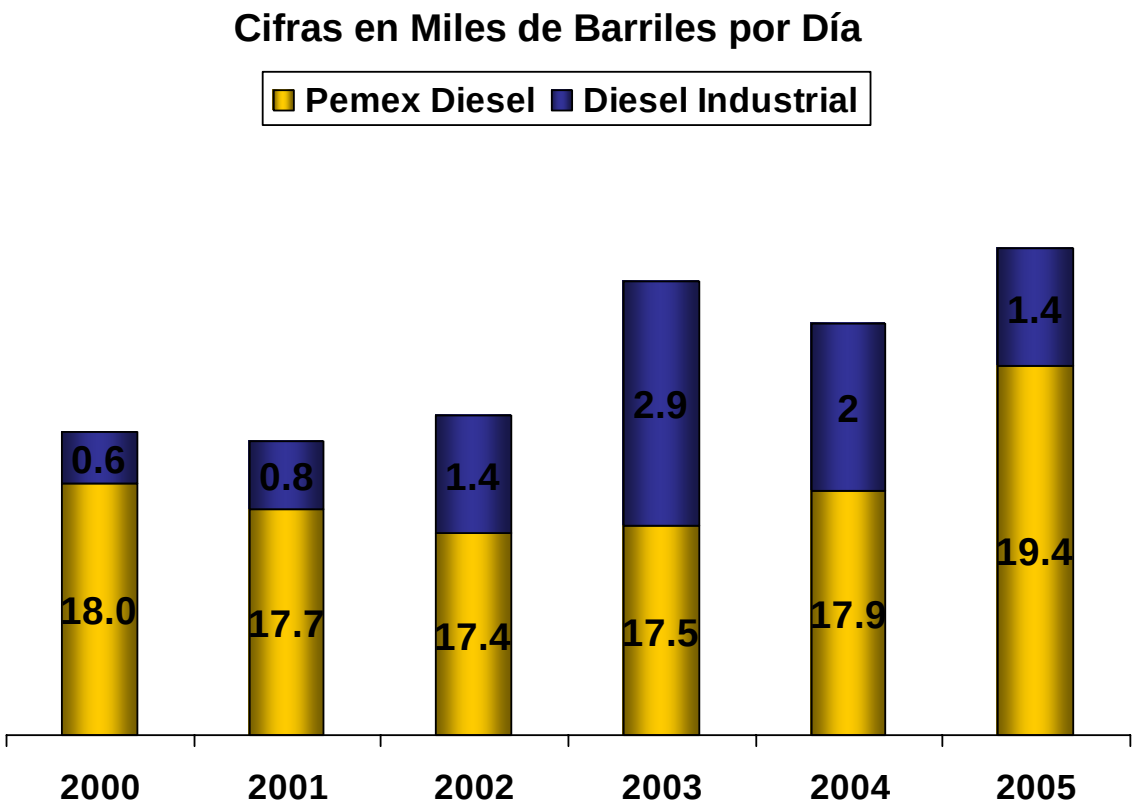
Figura 4.8 Evolución de Oferta y Demanda de Diesel (1)

Evolución de las Ventas Internas, Producción, Importaciones, Exportaciones y Producto de Retorno de Diesel
Cifras en Miles de Barriles por Día



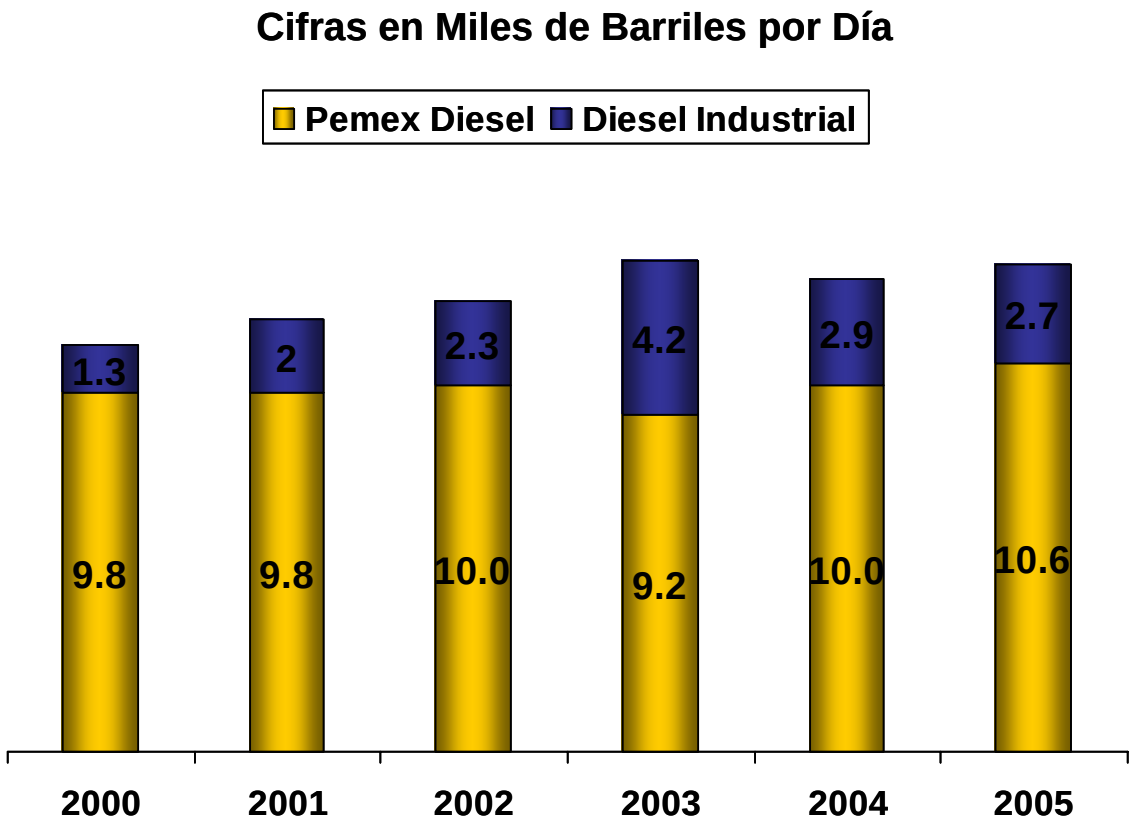
Fuente:
(1) www.pemex.com, Indicadores Petroleros, enero 2006.

Figura 4.9 Evolución de las Ventas de Diesel en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)



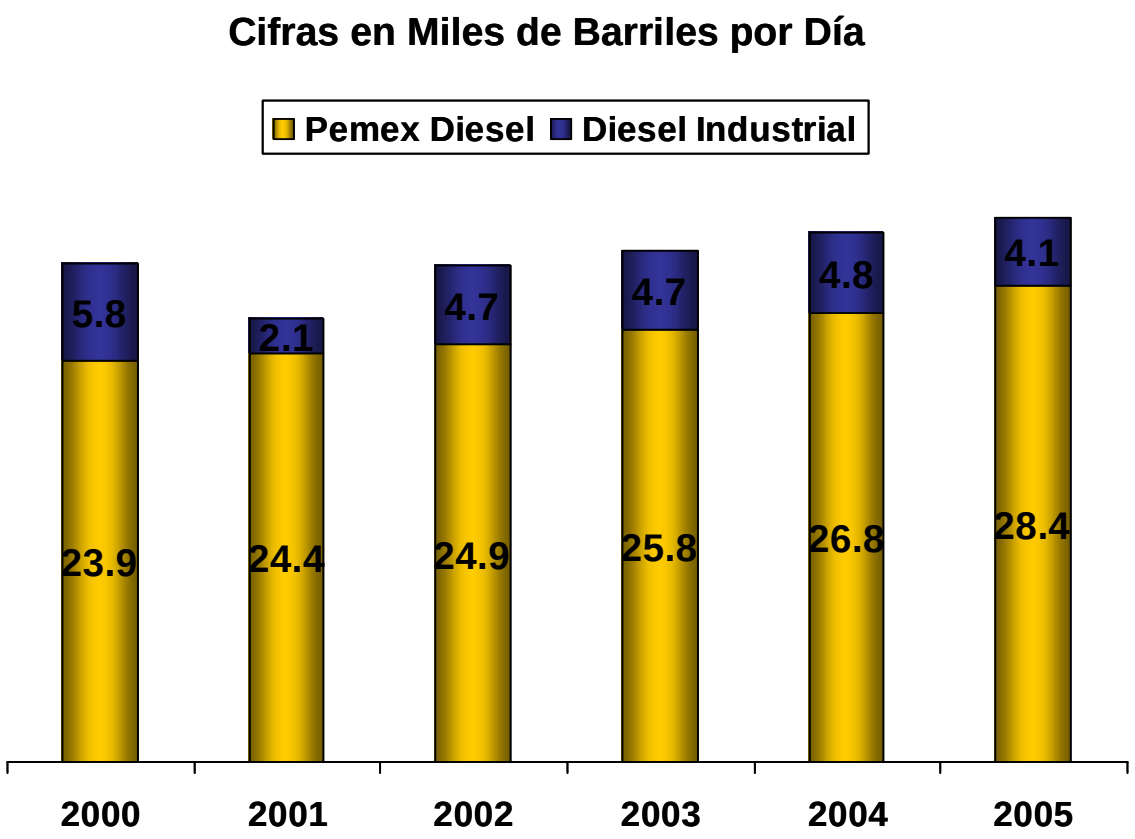
Fuente:
PEMEX Refinación

Figura 4.10 Evolución de las Ventas de Diesel en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMMTY)



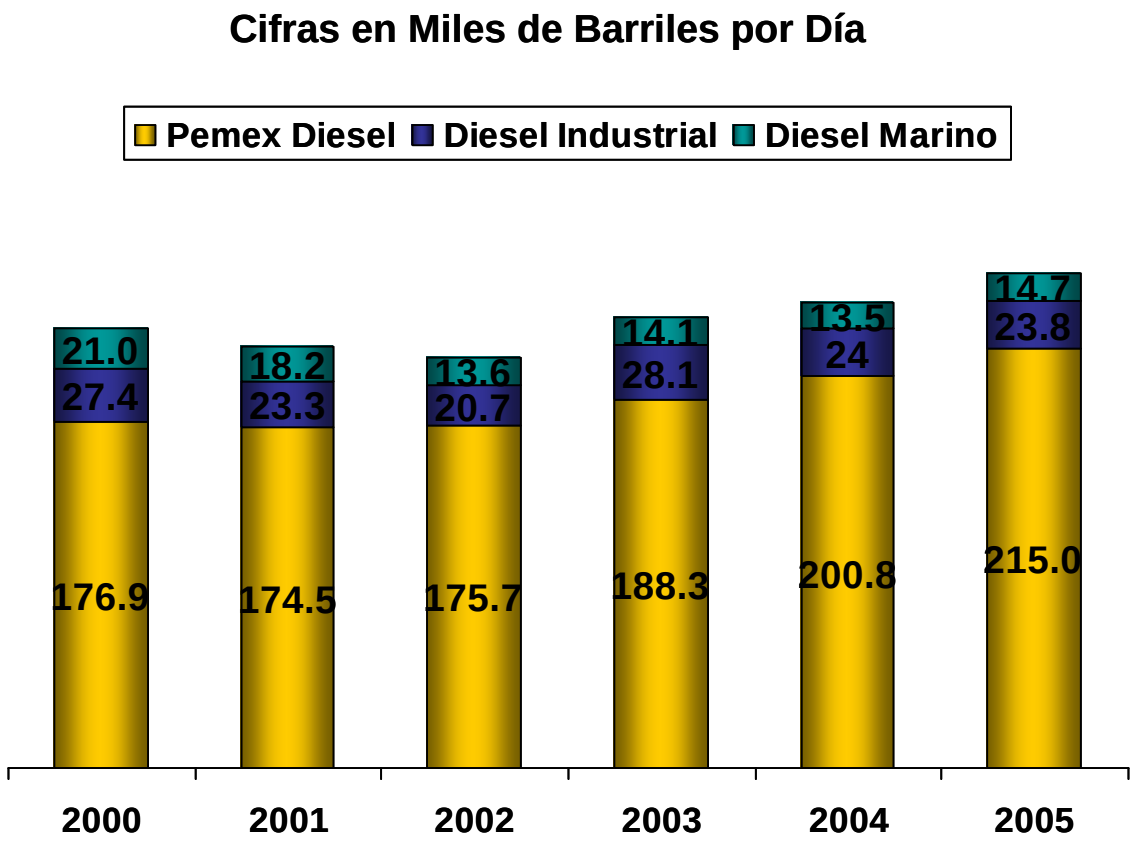
Fuente:
PEMEX Refinación

Figura 4.11 Evolución de las Ventas de Diesel en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)



Fuente:
PEMEX Refinación

Figura 4.12 Evolución de las Ventas de Diesel en el Resto del País (RP)

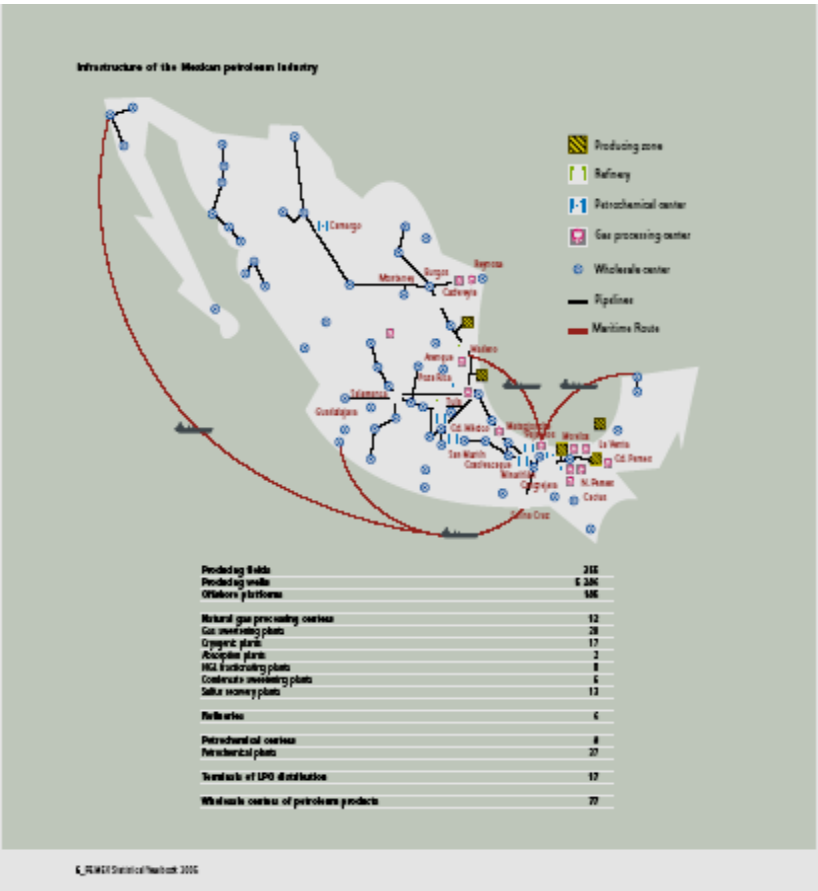


Fuente:
PEMEX Refinación

5. Instalaciones Petroleras y el Sistema Nacional de Refinación (SNR)

La infraestructura de la industria petrolera nacional y la correspondiente del Sistema Nacional de Refinación (SNR), se muestra en las figuras 5.1 y 5.2.

Figura 5.1 Instalaciones Petroleras [(1)]



(1) Fuente: www.pemex.com, Statistical Yearbook 2005

Figura 5.2 Sistema Nacional de Refinación (SNR) [(2)]

(2) Fuente: www.pemex.com, Statistical Yearbook 2005

5.1 Sistema Nacional de Refinación (SNR)

El esquema de proceso de las instalaciones corresponde a las siguientes configuraciones: dos de complejidad media (una de tipo FCC, otra FCC+ alquilación +éteres), dos de alta complejidad (del tipo FCC, con unidades de alquilación y éteres, así como con instalaciones de hidrotratamiento de residuales -conocidas como H-Oil-) y dos del tipo fondo de barril (las que incluyen plantas de coquización retardada). Lo anterior se traduce en índices de complejidad que se sitúan desde 7.8 hasta 15 puntos.

En términos de la dieta de crudo suministrada a las refinerías, ésta muestra composiciones diferentes en función de su complejidad, así los datos reportados en el período 2003-2005 en el sitio *www.pemex.com.mx*, en su sección de informes, en particular el denominado "Informe Estadístico de Labores", correspondiente al año 2005, esta información se incluye en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Estadísticas de Proceso de Crudo en el SNR

Estadisticas de Proceso de Crudo en el SNR(1)

Refineria	2003, MBD	Porcentaje	2004, MBD	Porcentaje	2005, MBD	Porcentaje
Cadreyta:	**209**	**100**	**213**	**100**	**194**	**100**
Pesado	77	36.8	88	41.3	102	52.6
Ligero	117	56.0	97	45.5	90	46.4
Superligero	0	0.0	1	0.5		
Reconstituido	12	5.7	25	11.7		
Otras Corrientes	3	1.4	2	0.9	2	1.0
Madero:	**142**	**100**	**145**	**100**	**142**	**100**
Pesado	71	50.0	102	70.3	122	85.9
Ligero	53	37.3	31	21.4	16	11.3
Superligero	0		0			
Reconstituido	18	12.7	12	8.3	4	2.8
Otras Corrientes						
Minatitlán:	**176**	**100**	**166**	**100**	**163**	**100**
Pesado	56	31.8	54	32.5	54	33.1
Ligero	120	68.2	112	67.5	109	66.9
Superligero						
Reconstituido						
Otras Corrientes						
Salamanca:	**185**	**100**	**199**	**100**	**197**	**100**
Pesado	41	22.2	48	24.1	50	25.4
Ligero	138	74.6	149	74.9	131	66.5
Superligero	5	2.7	1	0.5	14	7.1
Reconstituido	1	0.5	1	0.5	2	1.0
Otras Corrientes						
Salina Cruz:	**306**	**100**	**288**	**100**	**293**	**100**
Pesado	103	33.7	106	36.8	105	35.8
Ligero	194	63.4	174	60.4	187	63.8
Superligero			1	0.3		
Reconstituido	9	2.9	7	2.4	1	0.3
Otras Corrientes						
Tula:	**267**	**100**	**292**	**100**	**295**	**100**
Pesado	76	28.5	96	32.9	99	33.6
Ligero	189	70.8	194	66.4	195	66.1
Superligero			1	0.3		
Reconstituido	2	0.7	1	0.3	1	0.3
Otras Corrientes						
Totales:	**1285**	**100**	**1303**	**100**	**1284**	**100**
Pesado	424	33.0	494	37.9	532	41.4
Ligero	811	63.1	757	58.1	728	56.7
Superligero	5	0.4	4	0.3	14	1.1
Reconstituido	42	3.3	46	3.5	8	0.6
Otras Corrientes	3	0.2	2	0.2	2	0.2

Fuente:
(1) www.pemex.com.mx, Informe Estadistico de Labores 2005, Cuadro 33, página 49

5.2 Rendimientos de Productos Observados en el Sistema Nacional de Refinación (SNR)

De los datos reportados el 41 por ciento del total procesado en 2005, correspondió al crudo pesado tipo Maya, seguido por cerca del 57 por ciento del ligero tipo Istmo y el 2 por ciento restante, estuvo ocupado principalmente por el superligero y reconstituido.

Con base en esta canasta de crudos procesados el rendimiento promedio de gasolinas se situó en cerca del 35 por ciento; mientras que el diesel registró valores cercanos al 25 por ciento y el Combustóleo (equivalente al Fuel Oil No. 6) con 27 por ciento, en suma estos tres productos contabilizaron el 87 por ciento del total del petróleo crudo procesado, la diferencia el 13 por ciento, lo ocuparon el gas licuado, el asfalto, las bases para aceites lubricantes entre otros, éstos datos se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Elaboración de Productos en el SNR

Elaboración de productos petroliferos(1)
Cifras en Miles de Barriles por Día

	2003	Porcentaje	2004	Porcentaje	2005	Porcentaje
Proceso de Crudo:	**1286**		**1303**		**1284**	
Total petrolíferos:	**1343**	**193.9**	**1361**	**193.4**	**1337**	**191.7**
Gas seco(2)	**51**	**4.0**	**50**	**3.8**	**52**	**4.0**
Gas licuado	**34**	**2.6**	**28**	**2.1**	**31**	**2.4**
Gasolinas:	**446**	**34.7**	**466**	**35.8**	**455**	**35.4**
PEMEX Magna	397	30.9	418	32.1	412	32.1
PEMEX Premium	38	3.0	44	3.4	38	3.0
Base	10	0.8	4	0.3	5	0.4
Otras	1	0.1				
Querosenos:	**60**	**4.7**	**62**	**4.8**	**63**	**4.9**
Trubosina	60		62		63	
Diesel:	**308**	**24.0**	**325**	**24.9**	**318**	**24.8**
PEMEX Diesel	291	22.6	320	24.6	312	24.3
Carga HDS	16	1.2	5	0.4	6	0.5
Desulfurado	1	0.1				
Combustóleo(3):	**396**	**30.8**	**368**	**28.2**	**350**	**27.3**
Pesado	396	30.8	368	28.2	350	27.3
Intermedio 15					1	0.1
Asfaltos	**26**	**2.0**	**27**	**2.1**	**29**	**2.3**
Lubricantes	**5**	**0.4**	**5**	**0.4**	**5**	**0.4**
Coque	**16**	**1.2**	**28**	**2.1**	**29**	**2.3**
Otros	**1**	**0.1**	**2**	**0.2**	**5**	**0.4**
Retorno de productos por maquila	**94**		**80**		**65**	
Gasolinas(4)	87		79		62	
Diesel	5		1		3	
Otros	2					

Notas:
(1) www.pemex.com.mx, Informe Estadistico de Labores 2005, Cuadro 33, página 50
(2) Miles de barriles de petroleo crudo equivalente por dia
(3) Incluye transferencia de despuntado de La Cangrejera a combustóleo
(4) Incluye componentes

6. Capacidad de Producción de Éteres en el SNR

La capacidad de producción del éter metil terbutílico y del éter metil teramílico (conocidos por sus siglas en inglés como MTBE y TAME, respectivamente), se presenta la tabla 6.1

Tabla 6.1 Capacidad Instalada de Producción de Éteres en el SNR(1)

Cifras en Miles de Barriles por Día

Refinería	MTBE	TAME
Cadereyta	2.9	0.0
Madero	2.5	2.3
Minatitlán	0.0	0.0
Salamanca	1.1	0.0
Salina Cruz	0.7	1.5
Tula	2.3	2.3
Total	**9.5**	**6.1**

Fuente:
(1) Foro: Etanol, Caña de Azúcar y Energía: PEMEX Refinación, Etanol de origen agrícola como oxigenante para combustible, CANACINTRA Xalapa, Veracruz, 24 de noviembre de 2005.

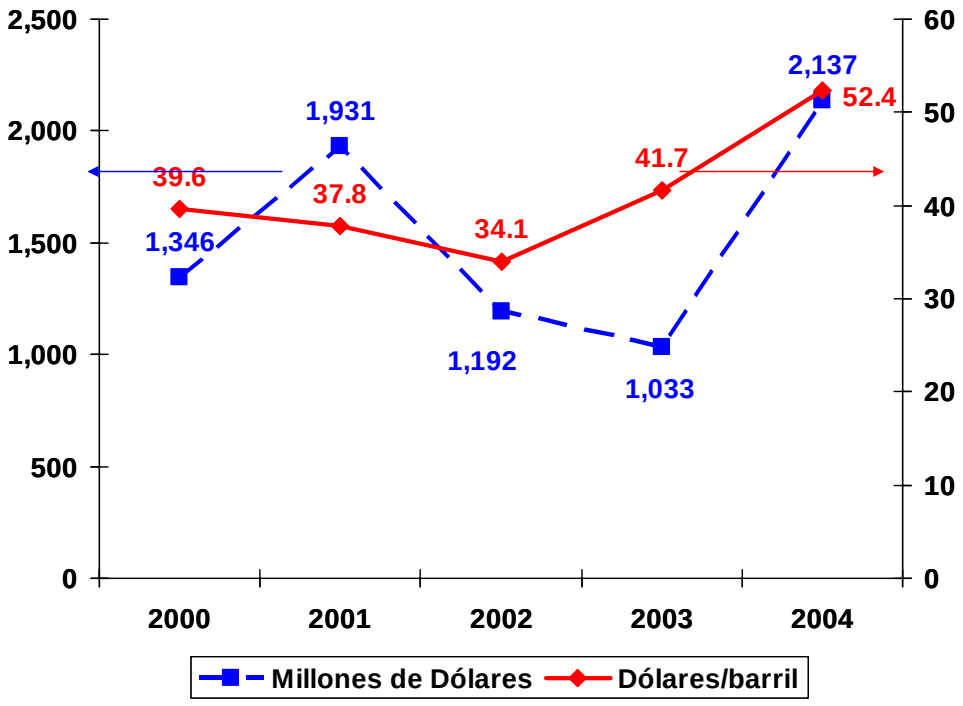
La capacidad de producción nacional de éstos oxigenantes es del orden de 15.6 MBD. En términos de requerimientos de alcohol para su obtención (en la actualidad se usa metanol), se demandan de 0.3 a 0.4 barriles por cada barril de éter, por tanto, el suministro de metanol diario es del orden de 6,240 barriles, los cuáles son proporcionado a PEMEX Refinación por PEMEX Petroquímica que los produce en sus instalaciones localizadas en San Martín Texmelúcan, Puebla.

Como se mencionó anteriormente, la demanda de compuestos oxigenados se ubicó el año pasado en el orden de 23 mil barriles por día (MBD), situación que se tradujo en déficit de cerca de 8 MBD, los cuáles se suministraron vía importaciones.

7. Evolución de los Precios de Importación de Gasolinas y Componentes

El valor de las importaciones de gasolinas y componentes (incluyendo el MTBE), se muestra en la figura 7.1.

Figura 7.1 Evolución de los Precios de Importación de Gasolinas y Componentes [(1)]



Fuente:
(1) www.pemex.com.mx, PEMEX: Statistical Yearbook. páginas 5 y 53.

De esta información se puede establecer que entre el año 2004 y 2005, el valor de las importaciones de gasolinas y componentes se incrementó en más de 100 por ciento, como resultado del aumento en el precio y el volumen registrado en el mismo período, el cual pasó de 69 a 113 MBD (en esta cifra se incluye el MTBE).

8. Mecanismo para la Determinación de los Precios al Público de los Combustibles para el Transporte

El proceso mediante el cual se establecen los precios al público en México, es en cierta medida complicado por los componentes que lo integran. Para los fines del estudio en comento, lo importante es el valor que PEMEX recibe de cada litro de combustible que comercializa, a éste se le denomina en la formula Precio PEMEX (identificado en la tabla como Precio Ventas Producto).

El criterio que es aplicado es el siguiente: el precio al público de un mes en particular (llamémosle al mes t_o), lo fija la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), tomando como base al porcentaje de inflación anualizada y la correspondiente del mes, teniendo como referencia el precio al público del último mes anterior.

Así, el precio al público del mes t_o del año "x", se determinaría partiendo del valor determinado por la SHCP para ese mes, por tanto, el resultado se ilustra en la tabla 8.1.

Tabla 8.1 Determinación del precio al público de productos, datos en pesos por metro cúbico (1)

Concepto	Producto: PEMEX		
	Magna	Premium	Diesel
Precio Ventas Producto (PRef)(1)	5,165.62	6,113.75	4,349.18
IEPS(2)	0.00	0.00	0.00
Precio PEMEX (PPX)	5,165.62	6,113.75	4,349.18
IVA(3)	(PPX*0.15)= 774.84	(PPX*0.15)= 917.06	(PPX*0.15)= 652.38
Flete (FL)(4)	36.92	36.92	36.92
IVA Flete (IVA_{FL})	(FL*0.15)= 5.54	(FL*0.15)= 5.54	(FL*0.15)= 5.54
Precio Facturación Cliente E.S. (PFC)	(PFM+ ME)= 5,938.65	(PFM+ ME)= 7,020.93	(PFM+ ME)= 5,044.01
Merma 0.74% (ME)(5)	(PFM*0.0074)= - 44.27	(PFM*0.0074)= - 52.34	No aplica
Precio Facturación con merma(PFM)	(PP-MC- IVA_{MC})= 5,982.93	(PP-MC- IVA_{MC})= 7,073.27	(PP-MC- IVA_{MC})= 5,044.01
Margen comercial(MC)(6)	(PP*0.0592)= 380.06	(PP*0.0592)= 449.33	(PP*0.042)= 222.60
IVA Margen comercial (IVA_{MC})	(MC*0.15)= 57.01	(MC*0.15)= 67.40	(MC*0.15)= 33.39
Precio Público (PP)(7) **PP = (PRef+IEPS+IVA+FL+IVA_{FL}+MC+IVA_{MC})**	**6,420.00**	**7,590.00**	**5,300.00**

(1) Fuente: PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación

Notas:

(1) Precio Spot en la Costa Norteamericana del Golfo de México
(2) Impuesto Especial sobre Producción y Servicios, el valor lo establece cada vez la SHCP
(3) Impuesto al Valor Agregado, en todo el país se grava con el 15 por ciento, a excepción de la Frontera Sur que la tasa es del 10 por ciento.
(4) El flete se establece como un valor fijo de 36.90 pesos por metro cúbico, asumiendo una distancia máxima de la terminal de almacenamiento al sitio de entrega de 20 kilómetros.
(5) El factor de merma de 0.74 por ciento sólo se aplica a las gasolinas.
(6) El margen comercial para el caso de las gasolinas es de 5.92 por ciento y para el diesel es de 4.20 por ciento.
(7) Valor establecido para el mes t_o por la SHCP

Por tanto, para la evaluación de la factibilidad del empleo de los biocombustibles sólo se deberá considerar el Precio Ventas Producto (marcado con rojo en la tabla), que se convierte para todo fin práctico en el precio de oportunidad ya sea de la gasolina y el diesel, así como de los compuestos oxigenantes como el MTBE y el TAME.

Si al determinar el precio ventas producto de los biocombustibles este resultase superior al de las gasolinas y el diesel, sería necesario determinar a quién se le deberá otorgar el apoyo para la selección del compuesto oxigenante sea indiferente al precio (es decir, decidir entre el uso de MTBE y TAME, versus ETBE y TAEE, o etanol).

9. Escenarios para la Evaluación de la Factibilidad del Empleo de los Biocombustibles

9.1 Bioetanol

En la reunión celebrada en la Secretaría de Energía (SENER), el pasado 14 y 15 de marzo del 2006, se aceptaron por las diferentes entidades participantes los siguientes:

- **Escenario No.1 :**
  Sustitución de la producción nacional de MTBE y TAME por ETBE y TAEE, manteniendo las importaciones de MTBE necesarias para satisfacer la demanda de las gasolinas oxigenadas de las Zonas Metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México.

- **Escenario No. 2 :**
  Eliminación del empleo de éteres en la formulación de gasolinas, manteniéndose la exigencia de oxigenación de gasolinas en las Zonas Metropolitanas, lo que se lograría a través del empleo de etanol.

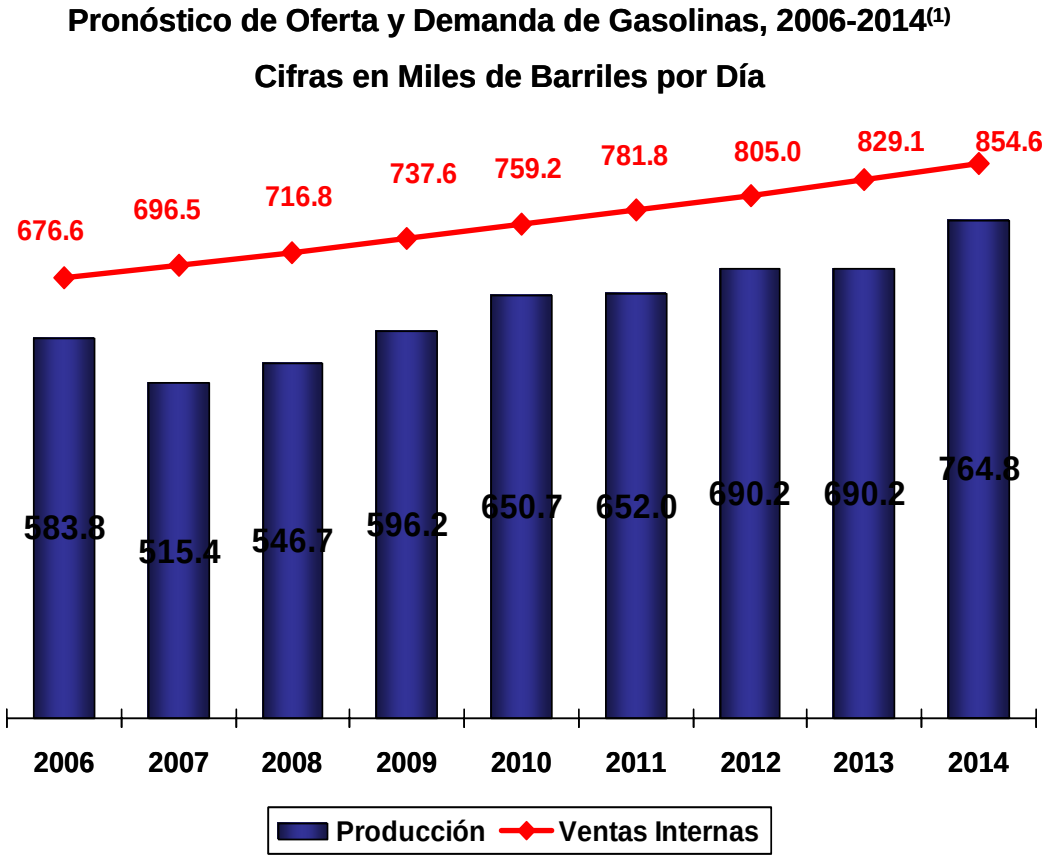
- **Escenario No.3 :**
  En éste se incorporaría además del empleo de etanol como oxigenante, la sustitución del 10 por ciento de la diferencia en volumen de las ventas nacionales de gasolinas menos el volumen considerado en el escenario no.2.
  Considerando que el volumen resultante de la operación anterior emplearía una mezcla de 10 por ciento etanol y 90 por ciento de gasolina)

9.1.1 Pronóstico de Demanda de Gasolinas en el Período 2006 – 2014

Se consideró que el período donde se evaluarían los escenarios propuestos, sería el correspondiente de 2006 a 2012, la información proporcionada por PEMEX Refinación a través de la Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación cubre el período de 2006 a 2014.

En las figuras 9.1 y 9.2 se presentan el pronóstico de la oferta y demanda esperada, así como la demanda segregada por tipo de gasolina.

Figura 9.1 Pronóstico de Oferta y Demanda de Gasolinas

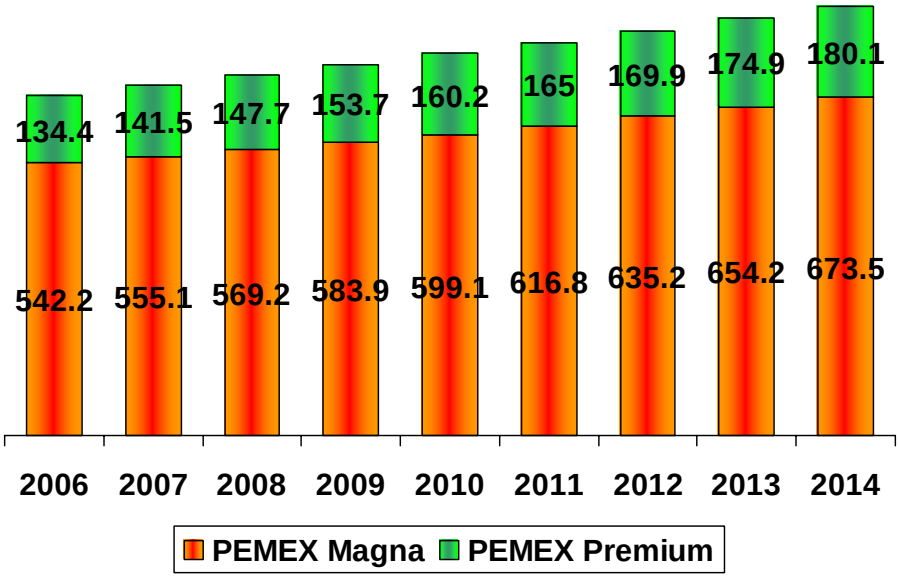


Fuente:

(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación

Figura 9.2 Pronóstico de la Demanda por Tipo de Gasolinas

Evolución de las Ventas Internas de Gasolinas, 2006 – 2014(1)
Cifras en Miles de Barriles por Día

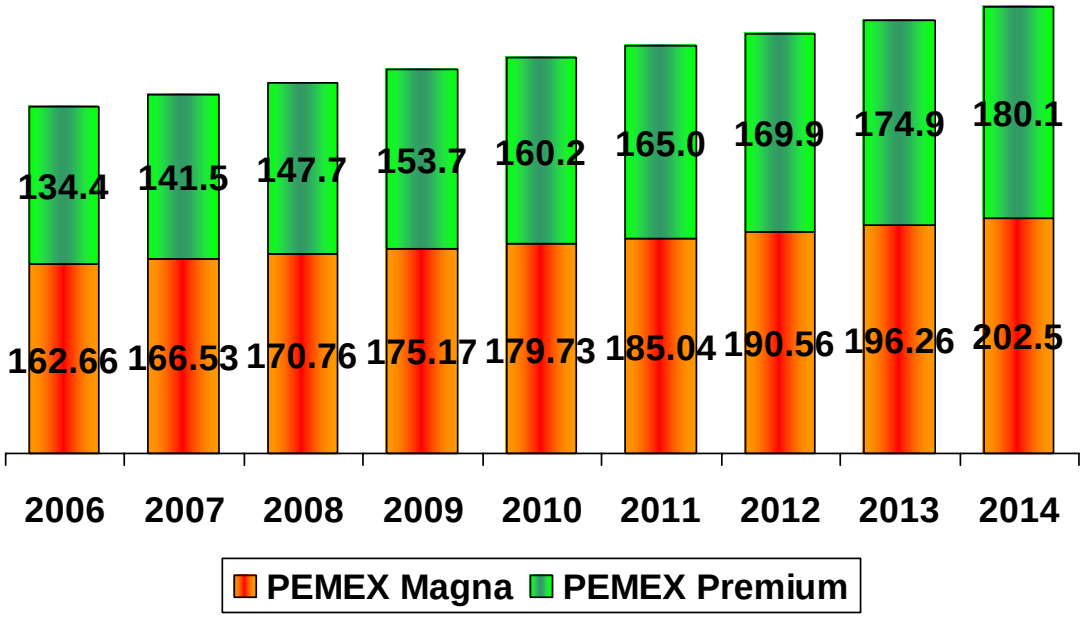


Fuente:
PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación

Con base en esta información, asumiendo que la demanda de las Zonas Metropolitanas para el período 2006-2014, representaría el 30 por ciento del total de las gasolinas comercializadas en el país, situación que ha sucedido en los últimos 5 años, nos da como resultado la oferta de gasolinas oxigenadas para estas regiones en el caso de la PEMEX Magna y a esta se suma el total de la PEMEX Premium, lo que nos daría la distribución que se ilustra en la figura 9.3.

Figura 9.3 Pronóstico de Ventas de Gasolinas Oxigenadas

Pronóstico de las Ventas Internas de Gasolinas Oxigenadas, 2006-2014(1)
Cifras en Miles de Barriles por Día

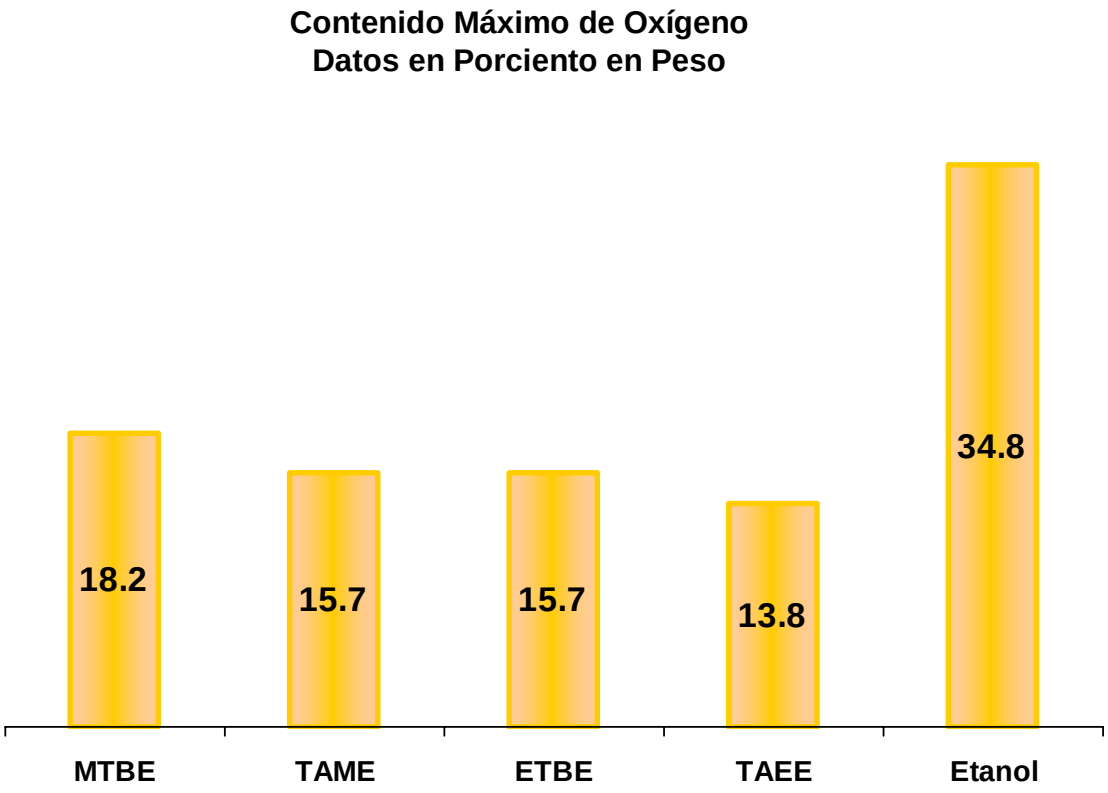


Fuente:
(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación

9.1.2 Contenido de Oxígeno Máximo de los Compuestos Oxigenados

En la figura 9.4, se presenta un gráfico que nos muestra el contenido máximo en peso de oxígeno de cada uno de los compuestos oxigenados empleados en la formulación de las gasolinas.

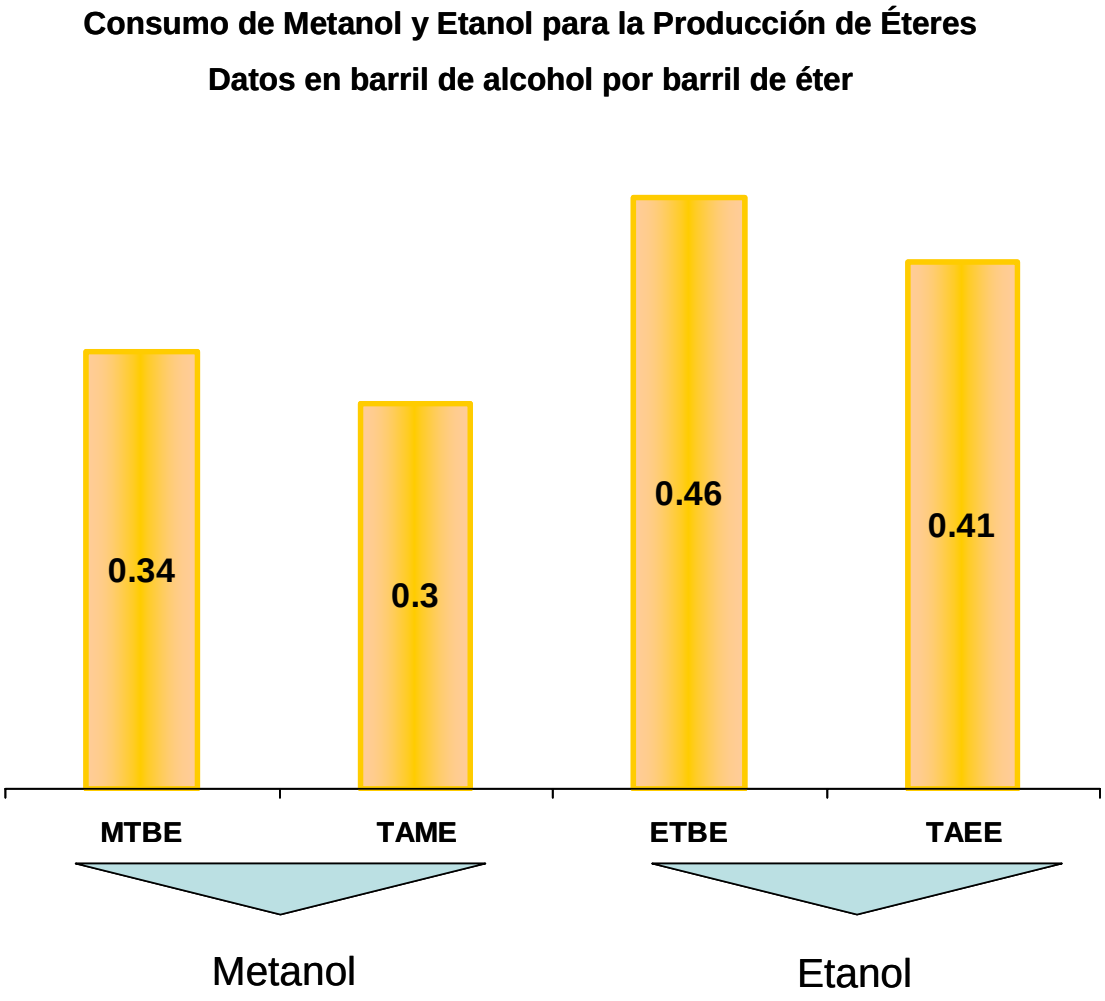
Figura 9.4 Contenido Máximo de Oxígeno



9.1.3 Consumo de Metanol y Etanol para la Producción de Éteres

En la figura 9.5, se ilustra el consumo de alcoholes requerido para la producción de cada barril de éter (pudiéndose emplear metanol o etano según sea el caso).

Figura 9.5 Consumo de Alcohol para la Producción de Éteres



9.1.4 Pronóstico de Demanda de Compuestos Oxigenados

Considerando el nivel promedio de contenido de oxígeno en 1.5 por ciento en peso, los requerimientos de compuestos oxigenados para cada escenario, estimados con base al MTBE (expresados para el caso del estudio en términos de ETBE) que es el producto más ampliamente ofertado en el mercado, en las tablas 9.1 a 9.4 se resumen los pronósticos de demanda de compuestos oxigenados para cada escenario.

Tabla 9.1 Pronóstico de Demanda de Compuestos Oxigenados

Caso: 1.5 por ciento de oxígeno máximo

Escenario	**Oxigenante empleado**	**Demanda esperada, MBD**		
		2006	**2010**	**2014**
No.1	ETBE	28.5	32.6	36.7
No.2	Etanol	12.8	14.6	16.5
No.3	Etanol	16.6	18.8	21.2

Si estimamos una concentración máxima de oxígeno de 2 por ciento en peso, el resultado esperado se ilustra en la tabla 9.2.

Tabla 9.2 Pronóstico de Demanda de Compuestos Oxigenados

Caso: 2.0 por ciento de oxígeno máximo

Escenario	**Oxigenante empleado**	**Demanda esperada, MBD**		
		2006	**2010**	**2014**
No.1	ETBE	37.7	43.2	48.6
No.2	Etanol	16.9	19.4	21.8
No.3	Etanol	20.7	23.6	26.5

Para el caso del escenario 1, el balance esperado entre la demanda de oxigenantes y capacidad de producción instalada en el SNR, se presenta en la tabla 9.3.

Tabla 9.3 Balance de Demanda de Oxigenantes

Caso: Escenario 1

Concepto	**Por ciento de oxígeno**	**2006**	**2010**	**2014**
Producción	1.5	15.6	15.6	15.6
Demanda		28.5	32.6	36.7
Déficit		**12.9**	**17.0**	**21.1**
Producción	2.0	15.6	15.6	15.6
Demanda		37.7	43.2	48.6
Déficit		**22.1**	**27.6**	**33.0**

Como puede observarse el déficit de compuestos oxigenantes que se presentaría en el período bajo estudio se ubicaría entre los 13 y los 33 MBD, según sea el contenido de oxígeno empleado en la formulación de las gasolinas en comento, cantidades que serían abastecidas por la vía de importaciones de MTBE y/o de ETBE. Éste último es una de las alternativas que

están siguiendo los refinadores en el entorno mundial, al considerarse dentro de los combustibles renovables por el empleo del bioetanol en su producción.

Para satisfacer la producción nacional de ETBE y TAEE; considerando que para producir cada barril de éstos éteres se requieren 0.46 y 0.41 barriles del alcohol, respectivamente, serán necesarios los volúmenes de etanol que se presentan en la tabla 9.4.

Tabla 9.4 Demanda Esperada de Etanol para la Producción de Éteres

Concepto	Por ciento de oxígeno	2006	2010	2014
Etanol para la producción de éteres	1.5	13.1	15.0	16.9
	2.0	17.4	19.9	22.4

En las tablas 9.5 y 9.6 se presentan los pronósticos de demanda anualizados tanto de MTBE y TAME, como de ETBE y TAEE, los correspondientes de metanol y etanol para su producción, así como el de éste último en el caso de usarse para el mezclado con gasolinas para obtener el mismo contenido de oxígeno.

Tabla 9.5 Pronóstico de Demanda de Éteres y Etanol

Demanda Esperada de Éteres y Etanol como Oxigenante(1)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Demanda de Gasolinas, MBD	297.1	308.0	318.5	328.9	339.9	350.0	365.4	371.2	382.6
Requerimientos de Oxigenantes, MBD: Asumiendo 1.5 por ciento en peso de oxigeno									
MTBE	24.5	25.4	26.2	27.1	28.0	28.8	30.1	30.6	31.5
TAME	28.5	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	35.1	35.6	36.7
ETBE	28.5	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	35.1	35.6	36.7
TAEE	32.4	33.6	34.7	35.8	37.1	38.2	39.8	40.5	41.7
Etanol	12.8	13.2	13.7	14.1	14.6	15.1	15.7	16.0	16.5
Requerimientos de Oxigenantes, MBD: Asumiendo 2.0 por ciento en peso de oxigeno									
MTBE	32.7	33.9	35.0	36.2	37.4	38.5	40.2	40.8	42.1
TAME	37.7	39.1	40.4	41.8	43.2	44.5	46.4	47.1	48.6
ETBE	37.7	39.1	40.4	41.8	43.2	44.5	46.4	47.1	48.6
TAEE	43.1	44.7	46.2	47.7	49.3	50.8	53.0	53.8	55.5
Etanol	16.9	17.6	18.2	18.7	19.4	20.0	20.8	21.2	21.8

(1) Cifras estimadas con base a la información proporcionada por la Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación de PEMEX Refinación

Tabla 9.6 Pronóstico de Demanda de Metanol y Etanol para la Producción de Éteres

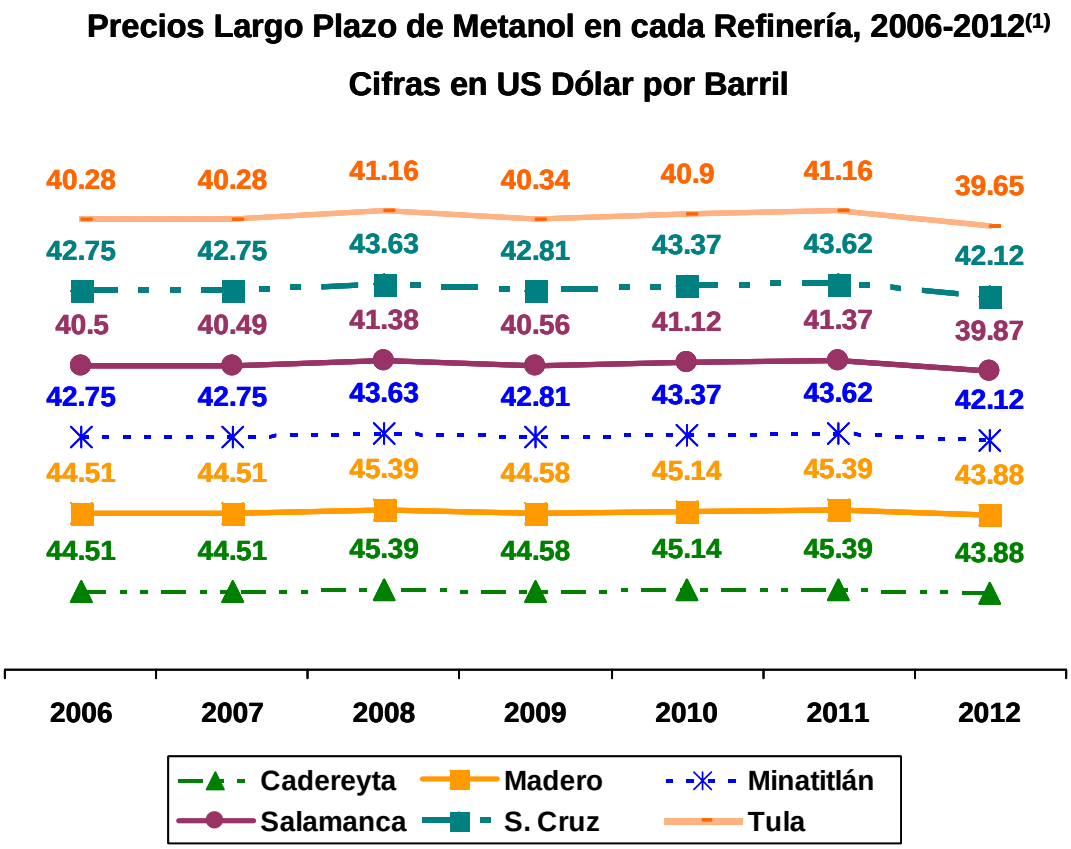
Estimacion de los requerimientos de Metanol y Etanol para la producción de éteres(1)

Requerimientos de Oxigenantes, MBD: Asumiendo 1.5 por ciento en peso de oxigeno	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
MTBE	24.5	25.4	26.2	27.1	28.0	28.8	30.1	30.6	31.5
TAME	28.5	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	35.1	35.6	36.7
ETBE	28.5	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	35.1	35.6	36.7
TAEE	32.4	33.6	34.7	35.8	37.1	38.2	39.8	40.5	41.7
Demanda de Metanol, MBD:									
MTBE	8.3	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	10.2	10.4	10.7
TAME	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.5	10.7	11.0
Demanda de Etanol, MBD:									
ETBE	13.1	13.6	14.1	14.5	15.0	15.5	16.1	16.4	16.9
TAEE	13.3	13.8	14.2	14.7	15.2	15.6	16.3	16.6	17.1
Requerimientos de Oxigenantes, MBD: Asumiendo 2.0 por ciento en peso de oxigeno									
MTBE	32.7	33.9	35.0	36.2	37.4	38.5	40.2	40.8	42.1
TAME	37.7	39.1	40.4	41.8	43.2	44.5	46.4	47.1	48.6
ETBE	37.7	39.1	40.4	41.8	43.2	44.5	46.4	47.1	48.6
TAEE	43.1	44.7	46.2	47.7	49.3	50.8	53.0	53.8	55.5
Demanda de Metanol, MBD:									
MTBE	11.1	11.5	11.9	12.3	12.7	13.1	13.7	13.9	14.3
TAME	11.3	11.7	12.1	12.5	13.0	13.3	13.9	14.1	14.6
Demanda de Etanol, MBD:									
ETBE	17.4	18.0	18.6	19.2	19.9	20.4	21.3	21.7	22.4
TAEE	17.7	18.3	18.9	19.6	20.2	20.8	21.7	22.1	22.7

(1) Cifras estimadas con base a la información proporcionada por la Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación de PEMEX Refinación

Estos volúmenes de etanol deberán presentar el mismo costo que el metanol en el período bajo estudio a la puerta de cada refinería, datos que se muestran en la figura 9.6.

Figura 9.6 Precios de Largo Plazo de Metanol en cada Refinería

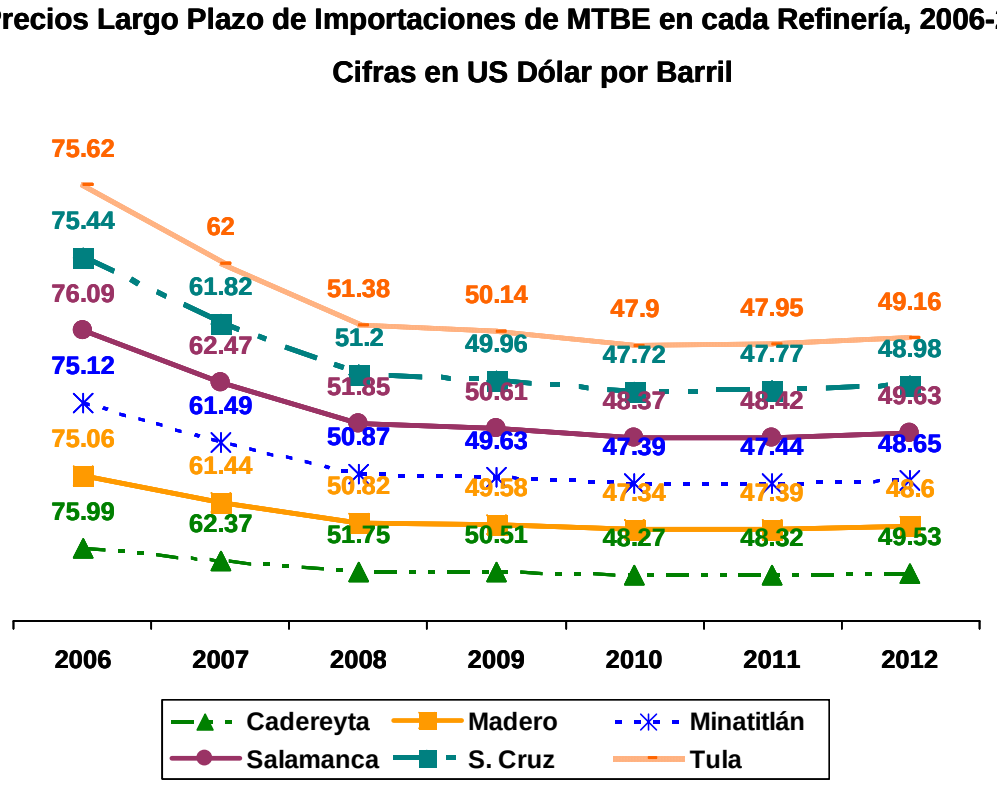


Fuente:

(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación.

Con referencia a los escenarios 2 y 3, el valor del etanol debería ser el esperado para el caso del MTBE a la puerta de cada refinería, datos que se ilustran en la figura 9.7.

Figura 9.7 Precios de Largo Plazo de MTBE en cada Refinería



Fuente:

(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación.

9.1.5 Inversiones para la Conversión de las Instalaciones Actuales de Producción de Éteres del SNR

Los datos que se presentan en la tabla 9.7 fueron proporcionados por la compañía CD Tech, unos de los tecnólogos de los procesos para la obtención de MTBE y TAME. Las cifras están expresadas en dólares por cada barril de capacidad instalada e indican la inversión necesaria modificar estas unidades para la producción de ETBE y TAEE.

Adicionalmente, se reporta en las mismas unidades los valores correspondientes para la conversión de las plantas de MTBE en isooctano.

Tabla 9.7 Inversiones para la Conversión de Plantas de Éteres

Planta	**Capacidad instalada, MBD**	**Inversión para conversión a, en Dólares por Barril**		
		ETBE	**TAEE**	**Isooctano**
MTBE	9.5	240		150
TAME	6.1		480	
Inversión Total, MM Dólares		**2.3**	**2.9**	**1.4**

Los recursos necesarios producir este tipo de éteres representan del orden de 5.2 millones de dólares, cantidad que repercutiría en el costo de producción de las gasolinas oxigenadas en cerca de 0.90 dólares por barril.

Además, es necesario considerar el período para la modificación de las instalaciones, el cual se estima en cerca de dos años, considerando desde su inicio que incluye el proceso de licitación hasta la conclusión de los cambios necesarios en cada unidad de proceso y la puesta en operación de la misma.

9.1.6 Implicaciones de la Formulación de Mezclas Bioetanol con Gasolina

Con base en las formulaciones actuales, los éteres (MTBE y TAME), amén de usarse para aportar el contenido de oxígeno especificado, contribuyen en promedio con el 8.3 por ciento al volumen total de las gasolinas producidas en el país.

El mezclado de gasolinas con etanol en el escenario 2, en el cual se plantea la prohibición del uso de éteres, implicaría que se afectaría el volumen de gasolinas producidas; ya que para aportar el 1.5 por ciento en peso de oxígeno se requieren del orden de 4.3 por ciento en volumen de etanol, lo cual reduciría en 4 por ciento el total obtenido, cantidad que se tendría que sustituir con otro u otros componentes para lograr el cumplimiento de las especificaciones, incrementando el costo de producción en función del producto empleado para lograrlo.

En el caso particular de las gasolinas PEMEX Magna y Premium que se comercializan en las Zonas Metropolitanas de Guadalajara y el Valle de México (ZMG y ZMVM), se sumaría la reducción en la producción que se tendría para ajustar la base para mezcla por cuanto a la PVR, ya que la mezcla de ésta con etanol deberá satisfacer el rango especificado de 6.5 a 7.8 psi, a lo largo de todo el año.

Al respecto, PEMEX ha determinado que esta situación tendría un costo adicional de entre 2 a 4 dólares por barril, asumiendo que etanol y el MTBE tuviesen el mismo precio a la puerta de cada refinería[1].

[1] PEMEX, Dirección Corporativa de Operaciones: Evaluación del uso de etanol para la producción de gasolinas, Enero 2006.

La información disponible sobre los valores de mezclado de PVR y de octano de los compuestos mencionados, se muestran en la tabla 9.8.

Tabla 9.8 Valores de Mezclado de Compuestos Oxigenados

Producto	Valor de Mezclado	
	Octano, (R+M)/2(1)	PVR, psi(2)
MTBE	110	8
TAME	105	2
ETBE	111	4
TAEE	100	2
Etanol	115	18

(1) R = Research Octane Number; M = Motor Octane Number.
(2) El valor de mezclado de PVR corresponde a un contenido de oxígeno de 2.7 por ciento en peso en la gasolina terminada.

En la tabla anterior se puede observar que si bien el etanol presenta un valor de octano de mezclado superior a los éteres, pero en términos de PVR éste muestra datos de más del doble con respecto al MTBE, de 9 veces para el TAME y TAEE; así como de más de 4 veces para el ETBE, lo que hace necesario reducir en este parámetro la base que se utilice para su mezcla para poder así cumplir con la especificación vigente en cada caso, teniéndose el mayor impacto cuando el valor de la PVR está fijo como es el caso de las ZMG y ZMVM.

En términos de formulación de gasolinas, la incorporación del etanol en su producción, implica eliminar en su preparación corrientes como los butanos y pentanos, las cuáles son de bajo costo y alto octano, para sustituirlas por otras de mayor valor, lo cual incrementa el valor de cada barril de combustible.

Por lo antes expuesto, la contribución del 8.3 por ciento en volumen de los éteres en la formulación de gasolinas se incrementa entre 10 a 12 por ciento cuando se sustituyen éstos por etanol.

Además, el mezclado de gasolinas con alcohol no puede ser llevado a cabo en las refinerías, por lo que se deberán considerar las inversiones para poder realizar esta operación en cada una de las terminales de almacenamiento y distribución, esto representa una erogación por cada instalación del orden de 6.7 millones de dólares[2] , cifra que incluye el tanque de almacenamiento del etanol, el sistema de mezclado, la adecuaciones a las instalaciones, entre otros.

Por tanto, con base en el precio estimado de producción del etanol a partir ya sea de caña de azúcar, de remolacha o del cultivo que en el apartado agrícola se determine más viable, se deberán establecer los apoyos que se otorgaran tanto al sector agrícola como al petrolero, estableciéndose los montos anualizados y sobre todo, la dependencia que los negociará con la

[2] Ibidem

SHCP; así como los tiempos que se requerirían para consolidar la producción demandada de etanol, ya sea que se destine para la producción de éteres o para el mezclado con gasolinas.

Cabe mencionar que la mezcla de éteres (ETBE y TAEE) con gasolinas, no requiere de infraestructura adicional, porque éstos se pueden producir e incorporar en las refinerías, minimizando de esta forma los costos que se incurrirían al sustituir el metanol por el etanol y los correspondientes para la modificación de las instalaciones existentes (MTBE y TAME).

9.2 Biodiesel

En la reunión celebrada en la Secretaría de Energía (SENER), el pasado 14 y 15 de marzo del 2006, se aceptaron por las diferentes entidades participantes los siguientes:

- **Escenario No. 1** :
  Se plantea el uso de una mezcla de 5 por ciento de biodiesel y el 95 por ciento restante de PEMEX Diesel.

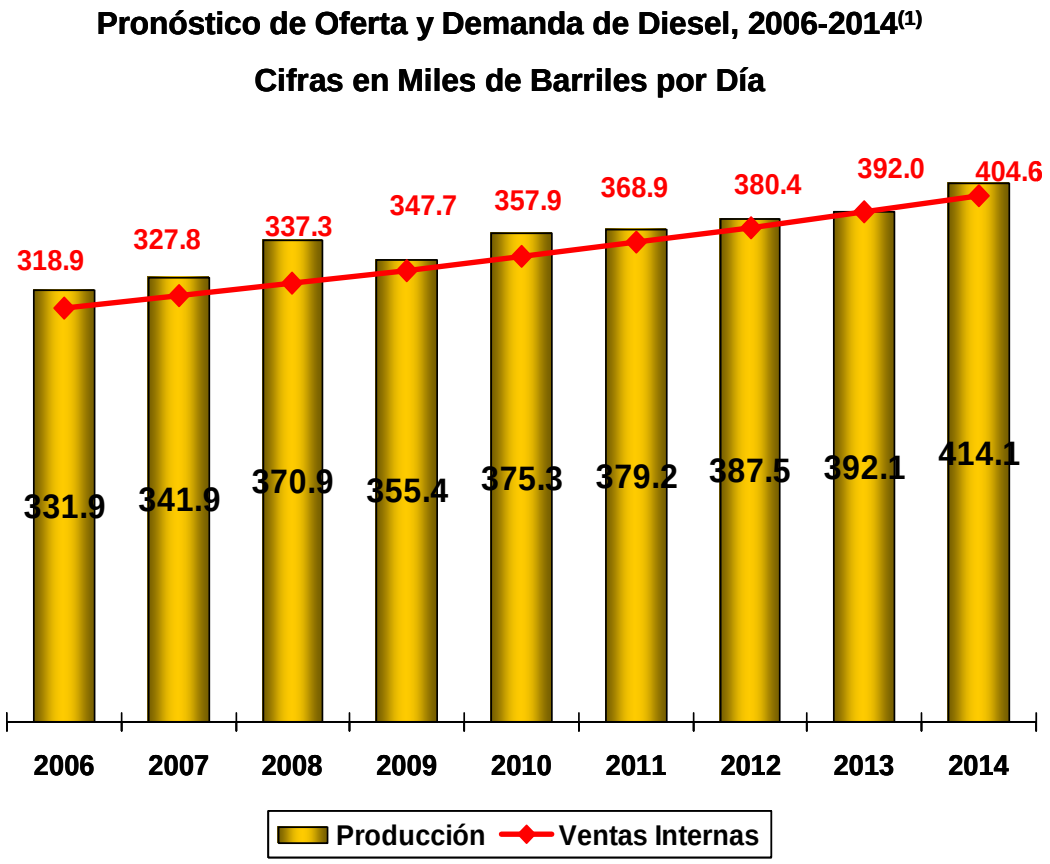
- **Escenario No. 2 :**
  En este se usa de una mezcla de 10 por ciento de biodiesel y el 90 por ciento restante de PEMEX Diesel.

- **Escenario No. 3 :**
  Se evaluará el uso de una mezcla de 20 por ciento de biodiesel y el 80 por ciento restante de PEMEX Diesel.

9.2.1 Pronóstico de Demanda de Diesel en el Período 2006-2014

En el período bajo estudio, el pronóstico de oferta y demanda la de diesel se muestra en la figura 9.8.

Figura 9.8 Pronóstico de Oferta y Demanda de Diesel ,2006-2014



Fuente:

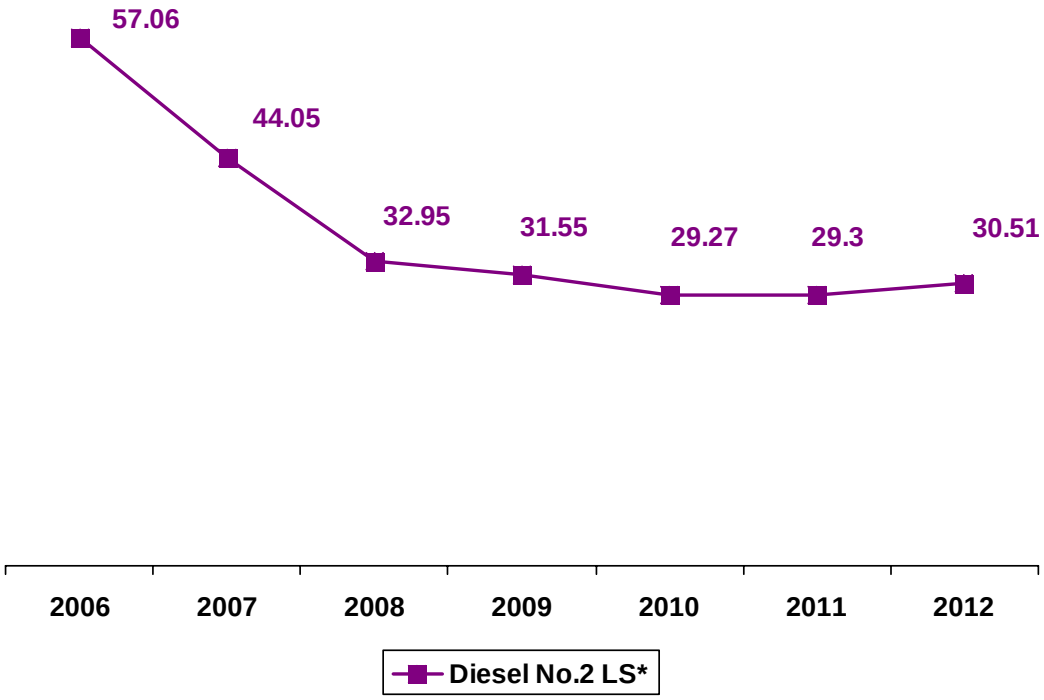
(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación.

De los datos se puede observar que prácticamente la demanda estará atendida en su totalidad y que en algunos años se tendrán excedentes que podrán ser destinados a la exportación.

Por tanto, los escenarios de empleo de biodiesel deberán ser evaluados como incremento de exportaciones, usando para ello los precios spot en la Costa Norteamericana del Golfo de México (CNGM), estos datos se muestran en la figura 9.9.

Figura 9.9 Cotizaciones Spot de Largo Plazo de Diesel en la CNGM

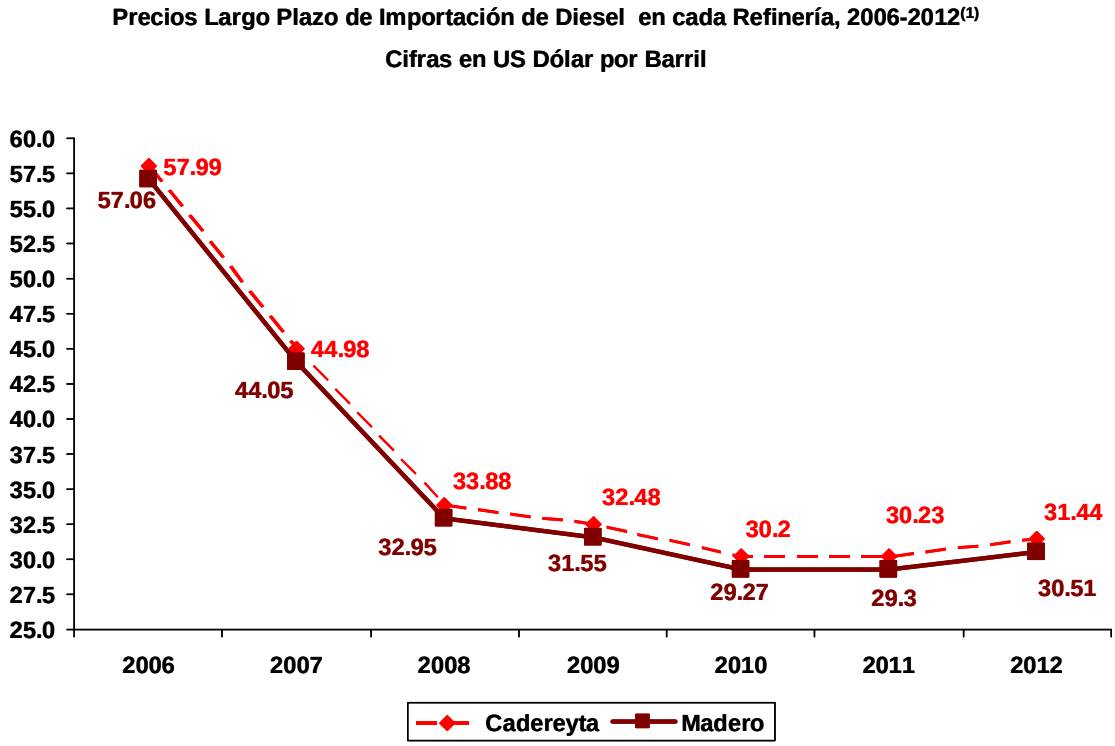
Cotizaciones de Referencia de Diesel Importado (CNGM), 2006-2012(1)
Cifras en US Dólar por Barril



Fuente:
LS* = Low Sulfur Diesel
(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación, Datos referidos a la Costa Norteamericana del Golfo de México.

Para el caso en que se presentase déficit en la producción de diesel, la incorporación del biodiesel en la formulación del PEMEX Diese deberá ser evaluado al precio que tendría el diesel importado a la puerta de cada refinería, valores que se muestran en las figuras 9.10, 9.11 y 9.12

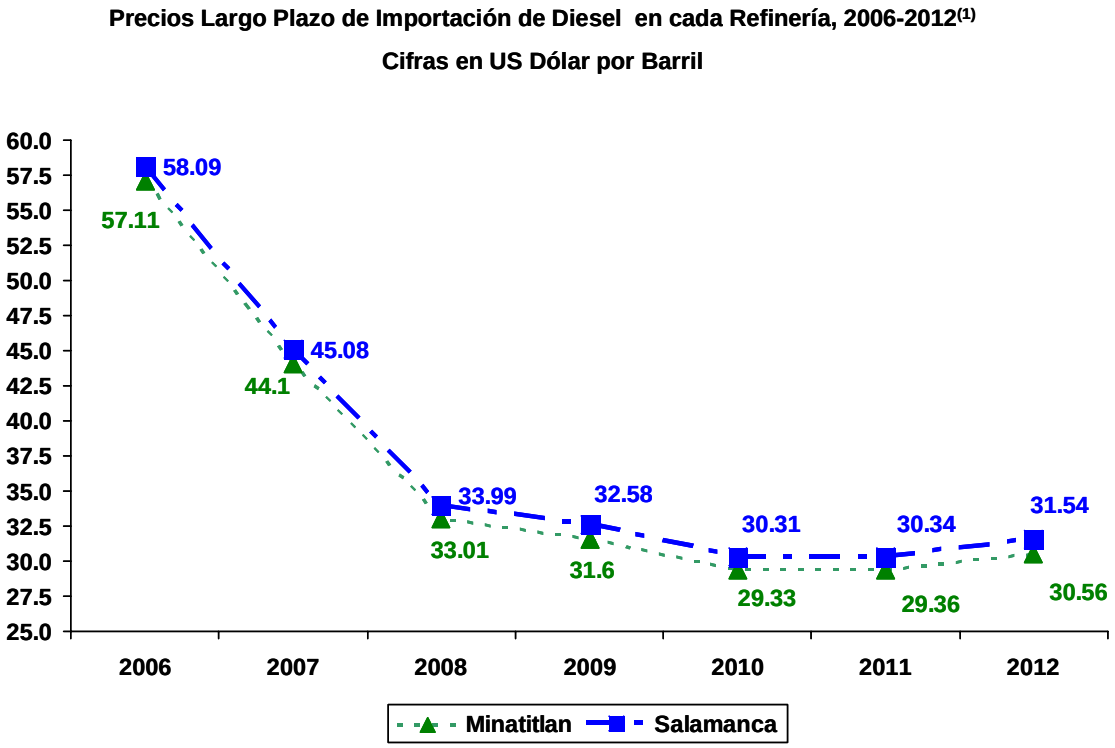
Figura 9.10 Precios de Largo Plazo del Diesel Importado en cada Refinería



Fuente:

(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación.

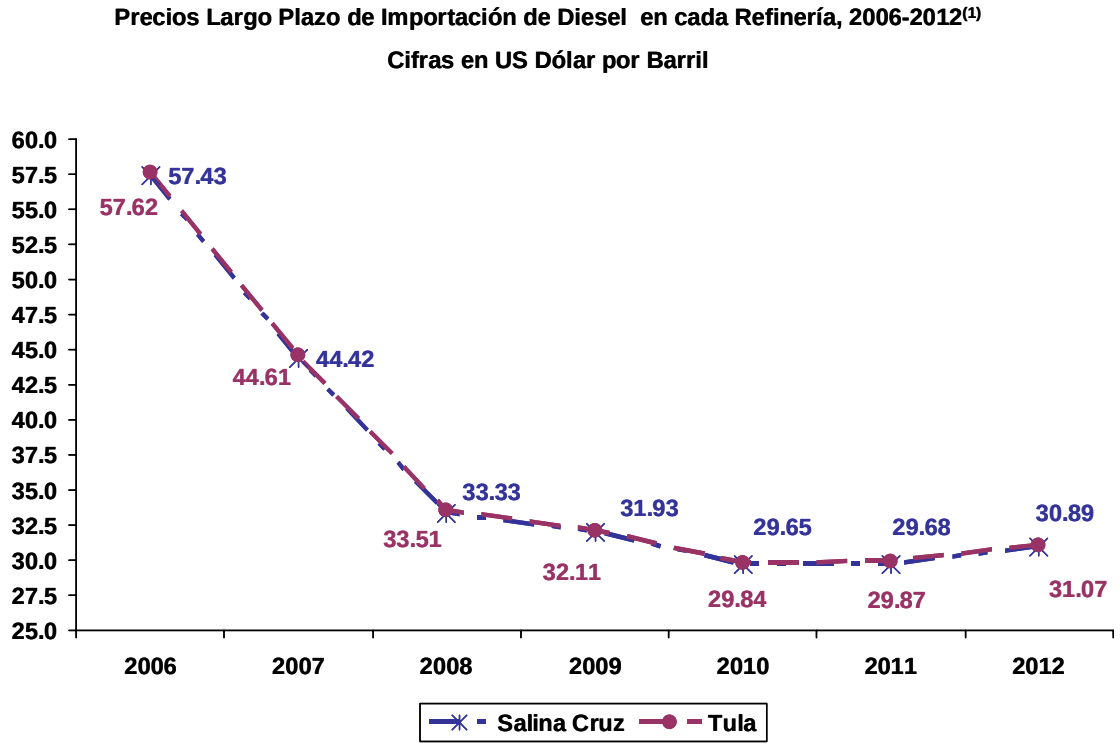
Figura 9.11 Precios de Largo Plazo de Importación de Diesel en cada Refinería



Fuente:

(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación.

Figura 9.12 Precios de Largo Plazo de Importación de Diesel en cada Refinería



Fuente:

(1) PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación

9.2.2 Implicaciones del Mezclado de Biodiesel con Diesel del Petróleo

En términos generales este tipo de mezclas no requiere de una infraestructura particular, sólo se necesita de un sistema de mezclado y de un tanque para almacenar el biodiesel.

El monto de inversiones necesarias para llevar a cabo esto en las refinerías, se estima sería necesario un sistema con capacidad de almacenamiento de máximo el 20 por ciento de la producción de PEMEX Diesel en centro de trabajo, lo que representaría disponer de al menos de dos tanques del orden de 40,000 barriles para garantizar de esta manera el abasto de biodiesel de 7 días.

Cada tanque, sus tuberías y el sistema de mezclado representarían una inversión del orden de 7 millones de dólares, cifra que se tendría que precisar en cada refinería, ya que depende de su ubicación, las características del terreno y la infraestructura necesaria para su integración con la existente.

Estos sistemas se deberán construir en cada una de las seis refinerías y se podría considerar que una sola instalación sería suficiente para llevar a cabo el mezclado en cada centro de producción.

9.2.3. Evaluación de la Viabilidad Económica

Para llevar a cabo este proceso, es necesario determinar de manera experimental en cada refinería, la mezcla que se deberá realizar para que se obtenga como producto final PEMEX Diesel con las especificaciones vigentes.

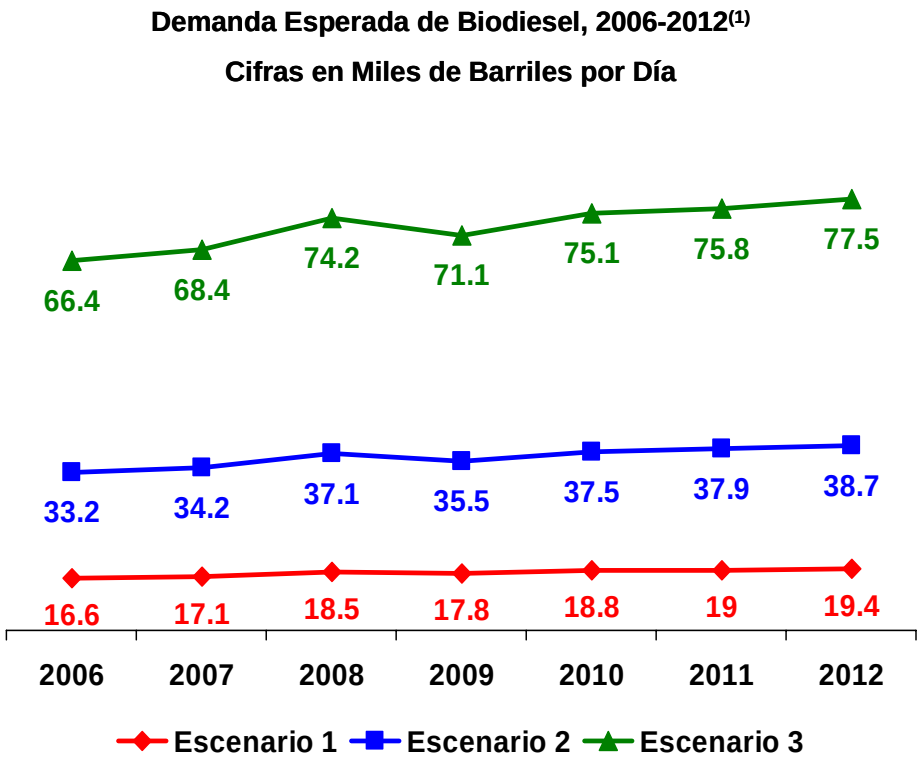
Esto implica desarrollar dos o tres fórmulas con las corrientes con las que actualmente se produce el PEMEX Diesel, a la que se sumaría el porcentaje de biodiesel a emplear y la o las mezclas resultantes realizarles los ajustes de calidad con un producto de menor valor (como es el caso del aceite cíclico ligero), buscando con esto reducir el costo de la preparación para así determinar el costo de oportunidad del biodiesel.

Cabe mencionar que en el momento que en el SNR se produjese el Diesel de Ultra Bajo Azufre (ULSD por sus siglas en inglés), el empleo del biodiesel permitiría cumplir con el límite especificado de lubricidad determinado por el método HFRR (High Frecuency Reciprocating Rig), cuyo valor máximo recomendado es de 460 micrones.

9.2.4. Pronóstico de Demanda de Biodiesel

Tomando como base la información del pronóstico de producción para el período bajo estudio y asumiendo los porcentajes de biodiesel propuestos en cada escenario, la demanda esperada de este producto se ilustra en la figura 9.13.

Figura 9.13 Pronóstico de Demanda de Biodiesel



Fuente:

(1) Información estimada como datos de PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación

10. Conclusiones y Recomendaciones

10.1 Recomendaciones

Con base en el escenario que resultase el más viable tanto para gasolinas como diesel, sería necesario posteriormente llevar a cabo a detalle las siguientes evaluaciones que se describen a continuación:

10.1.1 Bioetanol

a) Determinar en cada refinería la formulación típica de la base que se emplearía para mezclar con el etanol en la concentración que se determine, con el fin de obtener un producto final que satisfaga las especificaciones establecidas en la NOM-086.

b) Realizar la evaluación comparativa de emisiones de una población de vehículos representativa del acervo nacional, con el fin de establecer si la mezcla propuesta representa un beneficio ambiental en comparación con las gasolinas actuales, no sólo determinando las emisiones reguladas (CO, HC, NO_x), sino incluir la especiación de los hidrocarburos en el tubo de escape para estimar si no se generan mayor cantidad de precursores de ozono y a su vez medir la contribución a las emisiones evaporativas.

c) Consultar a la industria automotriz (AMIA), si la población de automóviles podría emplear la mezcla de gasolinas con etanol sin verse afectados los componentes plásticos.

d) Evaluar los impactos a los sistemas de manejo, transporte y comercialización de las gasolinas para establecer que no se verán afectados los polímeros usados en su operación por la presencia del etanol.

10.1.2 Biodiesel

i) Evaluar en cada refinería la base susceptible a mezclar para cada volumen de biodiesel a mezclar con el PEMEX Diesel, garantizando las especificaciones contenidas en la NOM086.

ii) Llevar a cabo una medición comparativa de emisiones de las mezclas de biodiesel con PEMEX Diesel contra éste en una muestra representativa de automotores del país, analizando las emisiones reguladas (HC, NOx y Partículas), así como la distribución del tamaño de las partículas para determinar si no se incrementan la fracción fina (PM10 y PM2.5).

iii) Consultar a los fabricantes de vehículos (ANPACT), si las o las mezclas susceptibles de usar no afectarían a los vehículos en circulación en el país. Solicitarles que especificación sería la que se debería cumplir al emplear la o las mezclas.

iv) Evaluar los impactos a los sistemas de manejo, transporte y comercialización de las gasolinas para establecer que no se verán afectados los polímeros usados en su operación por la presencia del biodiesel.

10.2 Conclusiones

10.2.1 Selección de Precios para la Evaluación Técnico-Económica de la Viabilidad del Proyecto de Biocombustibles

En el período bajo estudio (2006-2012), se observa una reducción en los precios spot de referencias de las gasolinas, el diesel y el MTBE, esto se debe a que se considera que derivado de las alzas registradas en el precio del crudo y los productos en los años precedentes, se detonaran inversiones en refinerías para capturar la ventaja competitiva que se presentará al inicio del período bajo estudio los precios elevados que se pronostican, situación que al finalizar el escenario propiciará un sobreoferta de derivados del petróleo[3].

Por lo expuesto se sugiere que las evaluaciones de la factibilidad técnico-económica de los escenarios para el caso del bioetanol, se realicen empleando dos conjuntos de precios: el primero integrado el valor máximo de los productos a la puerta de cada refinería o en el mercado spot y el segundo, compuesto por el precio promedio del ciclo (2006-2012).

Con base en lo anterior, en las tablas 10. 1 a 10.5, se presentan los precios recomendados para emplearse en las evaluaciones técnico-económicas.

Tabla 10.1 Cotización de Referencia

Producto	**Precio en dólares por barril**	
	Promedio	**Máximo**
MTBE	47.7	68.4
Metanol	34.9	36.9
Gasolina Regular (Magna)	36.6	57.7
Gasolina Premium	39.0	59.6
Diesel No. 2 LS	36.4	57.1

Tabla 10.2 Precio de Importación del MTBE en cada Refinería

Refinería	**Precio en dólares por barril**	
	Promedio	**Máximo**
Cadereyta	55.2	76.0
Madero	54.3	75.1
Minatitlán	54.4	75.1
Salamanca	55.3	76.1
Salina Cruz	54.7	75.4
Tula	54.9	75.6

[3] Fuente: PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Evaluación y Coordinación.

Tabla 10.3 Precio de Importación de Metanol en cada Refinería

Refinería	**Precio en dólares por barril**	
	Promedio	**Máximo**
Cadereyta	44.8	45.4
Madero	44.8	45.4
Minatitlán	43.0	43.6
Salamanca	40.8	41.4
Salina Cruz	43.0	43.6
Tula	40.5	41.2

Tabla 10.4 Precio de Importación de Gasolina Premium en cada Refinería

Refinería	**Precio en dólares por barril**	
	Promedio	**Máximo**
Cadereyta	45.1	65.6
Madero	44.1	64.7
Minatitlán	44.2	64.7
Salamanca	45.2	65.7
Salina Cruz	44.5	65.1
Tula	44.7	65.3

Tabla 10.5 Precio de Importación de Gasolina Regular (Magna) en cada Refinería

Refinería	**Precio en dólares por barril**	
	Promedio	**Máximo**
Cadereyta	42.6	63.7
Madero	41.7	62.7
Minatitlán	41.7	62.8
Salamanca	42.7	63.8
Salina Cruz	42.1	63.1
Tula	42.2	63.3

Tabla 10.6 Precio de Importación de Diesel No. 2 LS en cada Refinería

Refinería	**Precio en dólares por barril**	
	Promedio	**Máximo**
Cadereyta	37.3	58.0
Madero	36.4	57.1
Minatitlán	36.4	57.1
Salamanca	37.4	58.1
Salina Cruz	36.8	57.4
Tula	36.9	58.1

10.2.2 Consumo Estimado de Bioetanol en cada Escenario

En la figuras 10.1 y 10.2, se presentan los consumos estimados de etanol para cada uno de los escenarios, asumiendo un contenido de oxígeno máximo de 1.5 y 2.0 por ciento en peso.

Figura 10.1 Consumo Estimado de Etanol

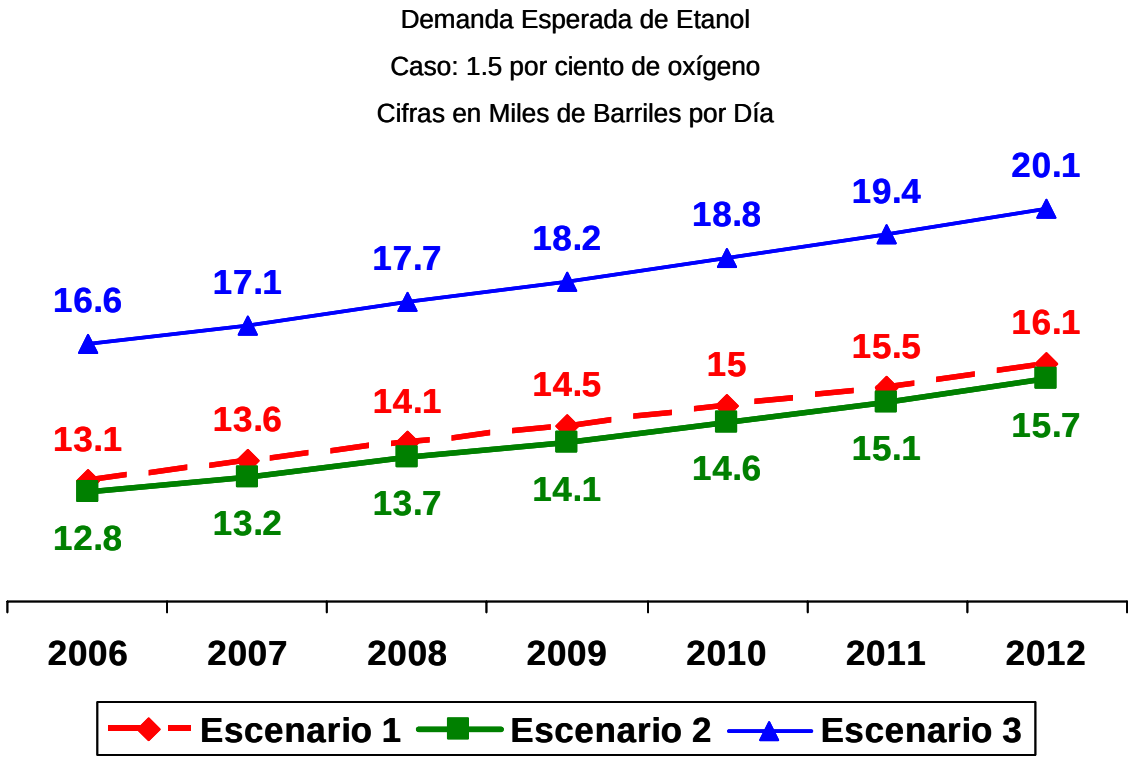
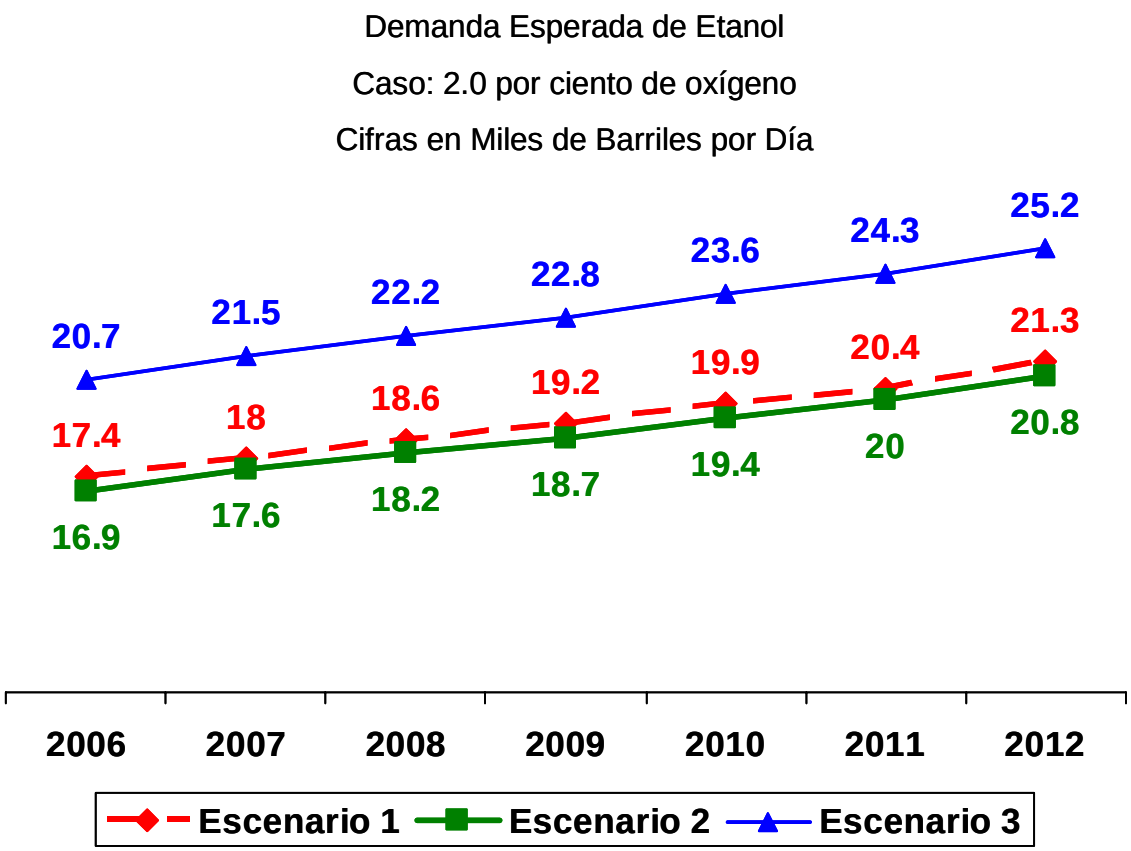


Figura 10.2 Consumo Estimado de Etanol

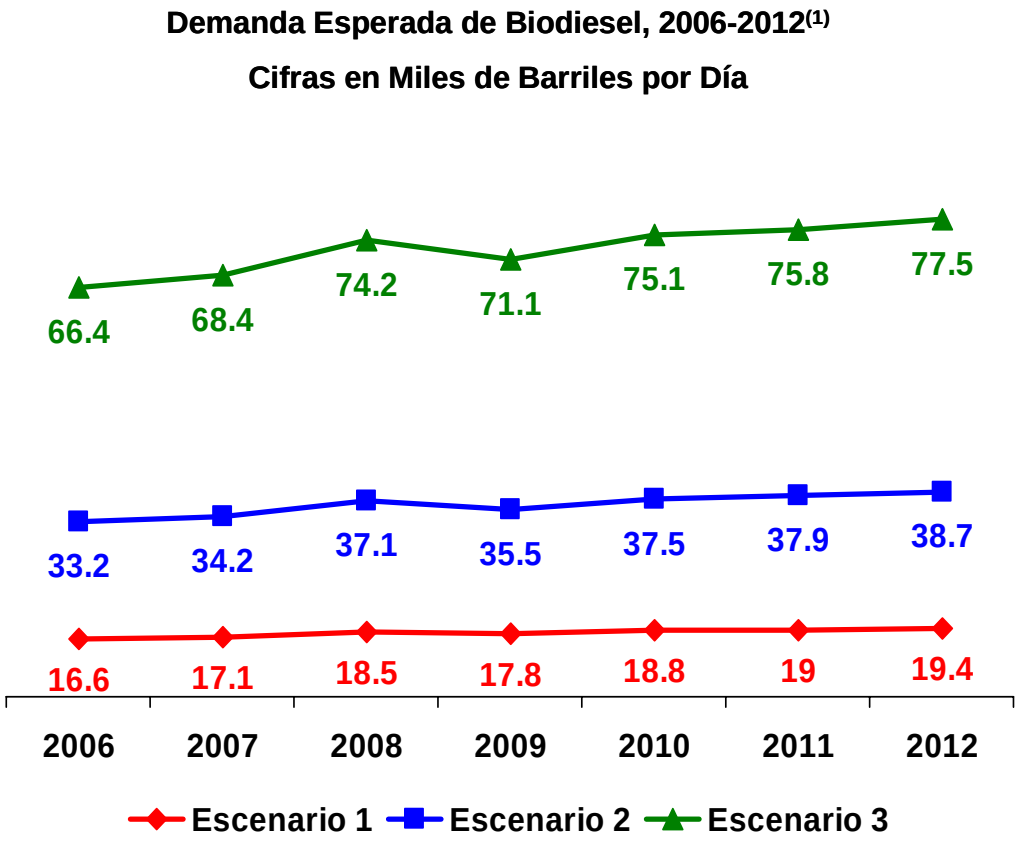


Con relación a los resultados de la demanda esperada de etanol, el escenario 2, presenta la menor cantidad de etanol, debido a que como se mencionó en el apartado correspondiente, en éste sólo se sustituye el empleo de los éteres por etanol como oxigenante. Por tanto, para aportar el contenido especificado de oxígeno a las gasolinas (PEMEX Magna y Premium), se requiere de un menor volumen de etanol, esta situación se observa tanto ambas figuras.

10.2.3 Consumo Estimado de Biodiesel en cada Escenario

En la figura 10.3, se muestran los datos de la demanda esperada de biodiesel, los que se estimaron usando la producción pronosticada para el período bajo estudio (corresponde a la figura 9.13) y considerando el porcentaje de biodiesel que se mezclaría con el PEMEX Diesel.

Figura 10.3 Demanda Esperada de Biodiesel en cada Escenario



Fuente:

(1) Información estimada como datos de PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación

11. Bibliografía

11.1 Sitios en Internet

www.energia.gob.mx, Balance Nacional de Energía 2004

www.camaradiputados.gob.mx, Leyes Federales y Estatales

www.pemex.com, PEMEX Statistical Yearbook 2005

www.pemex.com, Indicadores Petroleros, Enero 2006

www.pemex.com, Informe de Labores 2005

11.2 Presentaciones

PEMEX Refinación, Etanol de Origen Agrícola como Oxigenante para Combustible, CACINTRA Xalapa, Foro: Etanol, Caña de Azúcar y Energía, , Xalapa, Veracruz, Noviembre 24 de 2005.

PEMEX, Dirección Corporativa de Operaciones, Evaluación del uso de Etanol para la Producción de Gasolinas, Enero de 2006.

Drogos, Donna L., P.E., MTBE vs. Other Oxygenates, Mealey´s MTBE Conference, Molino del Rey, CA, May 11-12, 2000.

11.3 Documentación Electrónica

PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación, Precios de Referencia, Información de Precios SENER.xls

PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación, Cotizaciones de Referencia, precios_selec_06-12.xls

PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación, Prospectiva de Proceso de Crudo y Producciones, prospectivaparaSENER.xls

PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación, PR-VENTAS 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005, PR-Ventas.xls

PEMEX Refinación, Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación, Mecanismo para la Determinación de Precios al Público, FormulasPrecioPublicoGasolinaDiesel.ppt

Task 3: Overview of agricultural aspects

Ignacio Lazcano Martínez

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

Índice

1. De lo General
   1.1 El entorno físico
2. Agroclimatología
   2.1 El clima en la Republica Mexicana
   2.2 La Temperatura
   2.3 El Agua
      2.3.1 El Riego
      2.3.2 La Evapotranspiración
3. Uso del Suelo
4. Las Regiones agrícolas
5. Principales cultivos en las Regiones Agrícola
6. Principales cultivos en la República Mexicana
7. Calificación tecnológica de la agricultura en las regiones agrícolas de México
8. Los Seres Humanos
   8.1 Sobre el Ejido, antes y después
9. La Organización de la agricultura en México
   9.1 La autosuficiencia alimentaria
   9.2 La Productividad.
   9.3 Los Insumos: Los fertilizantes
   9.4 Extensión Agrícola
   9.5 Programas de Irrigación, Avenidas y Drenaje
10. Exportaciones e Importaciones agrícolas de México
11. Cultivos Energéticos
12. Problemas en la penetración al mercado del Bioetanol
13. Anexo
14. Bibliografía

Indice de Figuras

Fig 2.1 Principales tipos de clima en México

Fig 2.2 Temperaturas medias anuales

Fig 2.3 Precipitación total anual

Indice de Tablas

Tabla 2.1 Superficie (%) por grupo climático en la Republica Mexicana

Tabla 5.1 Principales cultivos en las regiones agrícolas

Tabla 6.1 Cultivos cíclicos años agrícola 2004

Tabla 6.1 Principales cultivos perennes en la Republica Mexicana 2004

Tabla 7.1 Calificación tecnológica de la agricultura en las regiones Agrícolas de México

Tabla 9.1 Grado de autosuficiencia de los principales productos Agrícolas para el año 2004

1. De lo general

1.1. El Entorno físico

La República Mexicana, ocupa una superficie continental de 1'967,183 kilómetros cuadrados; 4,612 en las islas del Océano Pacífico y 752 en las Islas del golfo y del Caribe.

El territorio se extiende entre los paralelos 14º32'45" N y 32º43'05"N y los meridianos 86º 46W y 117º 08W de Greenwich.

Colinda en la frontera norte con los Estados Unidos de América en un desarrollo que alcanza 2,597 kilómetros y en la frontera sur limita con Guatemala y Belice mediante una línea fronteriza sinuosa que alcanza 1,138 kilómetros.

En cuanto a la orografía, la superficie nacional se distribuye por lo que hace a la altitud s.n.m., de la siguiente manera:

Metros	% sup nacional
0 - 300	29.11
301 - 900	17.43
901 - 2100	42.90
2001 - 2700	9.74
2701 – 3900	0.82

La topografía es vigorosa y movida y se divide así:

Área con pendientes de hasta	2% - 15.3%
	2 a 10% - 20.5%
	10 a 25% - 35.9%
	mas de 25% - 28.3%

Fuente: SAGARPA."El uso del suelo en la República Mexicana"

2. Agroclimatología

2.1 El clima en la República Mexicana

De acuerdo al criterio de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en países afectados por sequía grave o desertificación, México cuenta con una superficie de 1'197,991 km2 con déficit de humedad muy severo, severo o moderado durante el año. Lo anterior representa el 61% de la República Mexicana, distribuidos en áreas de todos los estados del país.

Las zonas con déficit de humedad muy severo (clima árido) ocupan 233,767 Km2 que representan el 12% del territorio. Estas áreas son las más agobiadas por los problemas de sequía y las más susceptibles de tener problemas de erosión eólica, ensalitramiento y

sobrepastoreo, siempre y cuando sean sometidas a manejos inadecuados de uso del suelo. Los estados que agrupan la mayor parte de esta superficie son: Sonora, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua y Coahuila.

Las zonas con déficit de humedad severo (climas árido y semiárido), ocupan 659,156 km2 que representan el 33% del país. Estas áreas cuentan con períodos de humedad cortos, sujetas a variaciones climáticas acentuadas que repercuten en un aprovechamiento principalmente pecuario y silvícola de especies no maderables. Los ecosistemas de estas áreas son muy frágiles, ya que si son degradados, su tiempo de recuperación es relativamente largo. Los estados que agrupan la mayor parte de esta superficie son: Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas, Tamaulipas, Sinaloa, Guanajuato y Aguascalientes.

Figura 2.1. Principales tipos de clima de México.

Las zonas con déficit de humedad moderado (clima semiárido húmedo) ocupan 305,068 km2 que representan el 16% de México. Abarcan una gran cantidad de condiciones físicas, caracterizadas normalmente por un período de humedad bien definido que hace posible en la mayoría de los casos una agricultura de temporal marginal, sin embargo, dependiendo de los cultivos, son necesarios riegos de auxilio o de punta que permitan asegurar una cosecha, Los estados que agrupan la mayor parte de esta superficie son; Yucatán, Zacatecas, Guanajuato, Aguascalientes, Campeche, Guerrero, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Colima, Puebla y Jalisco.

Tabla 2.1. Superficie por grupo climático para el Clima anual de la República Mexicana, Bajo Thorntwaite modificado V III

Clima	Superficie %
Aridos y semiáridos	61.15
Subhúmedos	21.93
Húmedos	9.61
Super húmedo	3.23
Otros	4.08
T o t a l	100.00

2.2 La temperatura

La radiación solar media anual en la República Mexicana es aproximadamente de 450 cal/cm2/día o sea 164 Kcal/cm2/año. Esta radiación es 50% mayor que la media del globo terráqueo que es de 300 cal/cm2/día (la eficiencia en la utilización de esta radiación por los cultivos, es con frecuencia menor al 1%; destaca la caña de azúcar con una eficiencia de 1.43% y una producción de materia seca doce veces superior al maíz por ciclo de cosecha).

La temperatura del aire, que clásicamente se considera como la esencia del clima, es quizás el elemento más estudiado y del que mejor se conocen sus relaciones con el desarrollo de las plantas, controlando las proporciones de las reacciones bioquímicas de varios procesos del crecimiento y del metabolismo de los vegetales. Aquí nos encontramos con indicadores valiosos como las "Constantes térmicas" o sea las cantidades de calor que las plantas necesitan para su pleno desarrollo (según especie y cultivar) cuando los demás factores climáticos y edafológicos se presentan en condiciones óptimas, basándose en el método de la Ley de Van't Of, que indica que la velocidad de reacción de un organismo se duplica por cada 10º C en la temperatura.

Estas "Constantes térmicas" se calculan a partir de los datos de temperaturas diarias desde la siembra hasta la maduración de un cultivo como en el método de Reamur y obtenemos los valores de la "constante" los cuales para algunas gramíneas son:

Cebada: 1700º C; trigo: 2000º C; maíz: 2500º C.

Así, en diferentes regiones el maíz, por ejemplo, a una temperatura media del ciclo de 15º C nos daría una duración de 166 días (2500/15); mientras que en otra región con 20º C de temperatura duraría 125 días.

Los datos de temperatura, también nos ayuda a prever, prevenir y hasta cierto punto controlar casi siempre con medidas preventivas de planeación y programación, las bajas temperaturas, las heladas, los lapsos libres de heladas, las temperaturas "cardinales".

En México, la carta de isotermas anuales nos muestra (Fig.2.2) que al sur del paralelo 20º N el territorio con una altitud máxima de 1000 m.s.n.m. queda comprendido dentro del área

limitada por la isoterma de 20º C o sea que, en general, dentro de esa porción del país, la temperatura media anual es superior a 20º C. (***anexo I. apartado 1***)

En esta zona, en su mayor parte dentro del trópico la temperatura es bastante uniforme.

Al norte del paralelo 20º N, las áreas comprendidas desde la orilla del mar hasta la altitud de 1000 m, con excepción de la región de "La Huasteca" donde la temperatura media es de 26º C, tienen una temperatura media anual comprendida entre 20º C y 24º C, que incluye el norte de Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León, San Luis Potosí, parte de Jalisco, Nayarit, Sinaloa, y las porciones bajas de Sonora, así como el sur y el oriente de la península de Baja California.

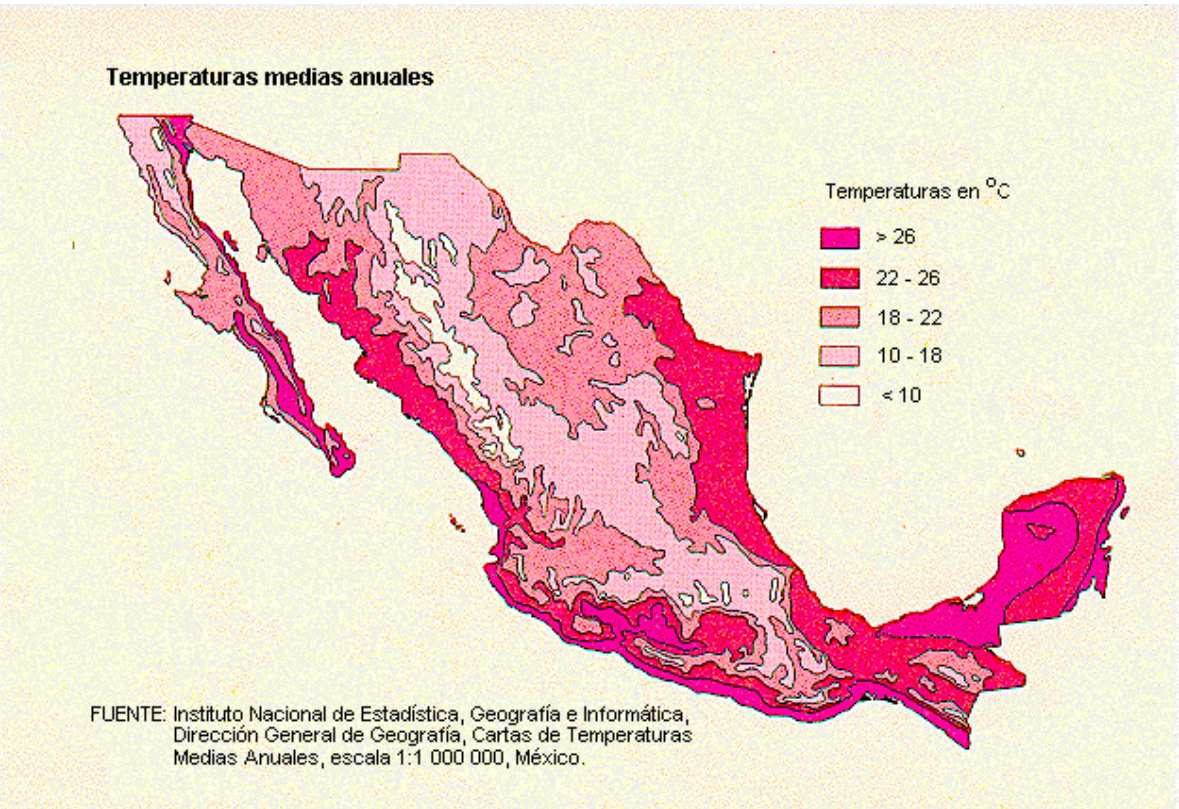


Figura 2.2 Temperaturas medias anuales

Podemos afirmar que en la zona de altitud menor de 1000 m y comprendida al sur del paralelo 20º, las variaciones mensuales en el curso del año son muy reducidas (5º C) y, en cambio, en las partes bajas extra tropicales la diferencia oscila, de 5º C en las cercanías de la costa, a 10º C en los puntos alejados.

Es importante mencionar con relación a las temperaturas medias anuales en México, en una serie de tiempos de 40 años que las máximas se alcanzaron en Atoyac, Gro. 28.9º C y en Apatzingán, Mich 28.3º C y las mínimas en El Salto, Dgo. 12.3º C y en Cd. Guerrero, Chih con 12.8º C.

2.3 El agua

2.3.1 La Precipitación pluvial (como sinónimo de lluvia), se presenta también en el (***anexo I.1)***

Cantidad y distribución del agua de lluvia.

Los extremos absolutos de la cantidad de lluvia anual, en nuestro planeta son:
0.6 mm en Arica (Chile) y 12990 mm en el Monte Waialeale (Hawai)

En nuestro país son: (40 años)
50 mm en Mexicali B.C. y 5500 mm en Covadonga, Chis; 5720 mm en Tenango, Oax. (Alto Papaloapan).

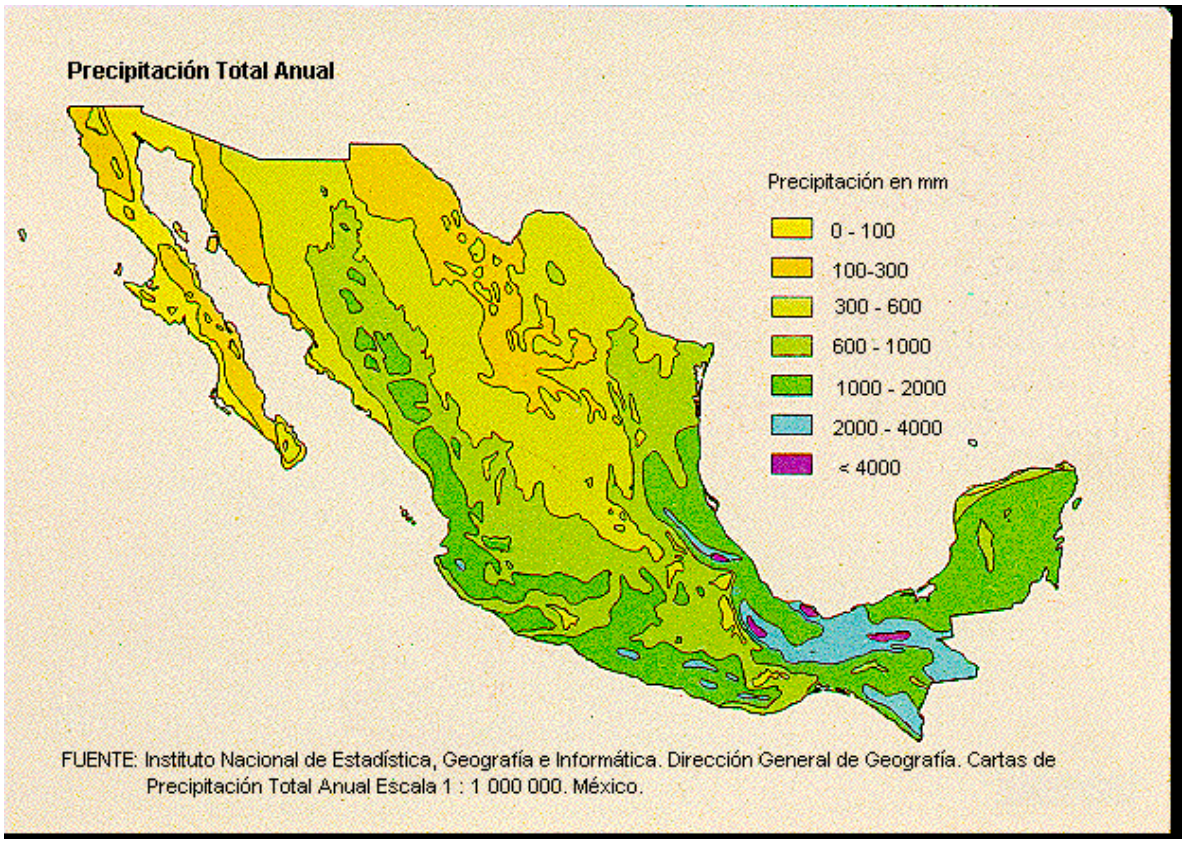


Figura 2.3 Precipitación total anual

En México el total anual de agua disponible alcanza 472 Km3. Contamos con una capacidad de almacenamiento de 180 Km3, podemos regular un volumen de 84 Km3 del total anual del agua disponible.

Aproximadamente dos tercios de la superficie nacional es árida o semiárida. Las regiones de buena lluvia para propósitos agrícolas se encuentran en las siguientes entidades: Tabasco, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Morelos, Chiapas, Colima, Campeche, México y las regiones en donde la agricultura solo es próspera por el riego, se encuentran en Baja California, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Durango, Tamaulipas, Guanajuato, Querétaro y Puebla.

2.3.2. El Riego

Para las aproximadamente 6 millones de hectáreas que se consideran de riego, se utilizan 54 Km3 de agua por año: el 66% es proveniente de aguas superficiales y el 34% de aguas subterráneas (9 millones de litros por hectárea regada, como lámina bruta por ciclo).

Es oportuno mencionar el agua consumida por sectores:
Irrigación 84%; Industria 12%; Agua potable 4%.

Y en tratándose del agua subterránea:
Agricultura 70%; 25% industria; 5% uso doméstico.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. (CNA)

2.3.3 La Evapotranspiración

La evapotranspiración, representa la cantidad de agua perdida por las plantas durante su ciclo vegetativo y se compara con la lluvia o el riego disponible o necesario a fin de efectuar un balance hídrico en cualquier región. Se mide como la suma de las cantidades de agua evaporada desde el suelo y la transpirada por las plantas.

A manera de ejemplo de evapotranspiración potencial calculada por el método de Thornhwaite para 6 estaciones metereológicas tenemos los siguientes datos anuales.-

Estación	Evapotranspiración Potencial anual (mm)*
Guadalajara, Jal	877
Guaymas, Son	1392
Salina Cruz, Oax	1748
Monterrey, N.L.	1185
Morelia, Mich.	814
Mérida, Yuc.	1522

* Se daría a plena satisfacción de agua disponible.

3. Uso del Suelo

Como se muestra en el ***anexo I.2,*** de la superficie total del país, los bosques ocupan el 18%, las selvas una extensión similar, el matorral aproximadamente el 30% del área, los pastizales el 14%, otros tipos de vegetación y los asentamientos humanos representan el 4% para dejar una proporción cercana al 16% como superficie susceptible de cultivarse en la tecnología del riego o del temporal (secano).

La superficie de riego que actualmente se aprovecha, es de aproximadamente 6 millones de hectáreas, de las cuales 2 millones se riegan con aguas subterráneas mediante bombeo y 4 millones con aguas superficiales de presas de almacenamiento o presas derivadotas de los ríos.

La superficie agrícola de temporal es de aproximadamente 21 millones de hectáreas.

En cinco entidades de la república ubicadas en el sur-sureste: Veracruz, Chiapas. Tabasco, Campeche y Yucatán, la superficie ocupada por pastizales alcanza aproximadamente 7 millones de hectáreas dentro de las cuales, si combinamos las condiciones climáticas, edáficas, sociales y económicas, encontramos los espacios que nos permiten un amplio desarrollo de los cultivos para producir Biocombustibles, sin demérito de aquellas áreas que se destinan a la producción de alimentos básicos. **(*anexo I.3)***

Cabe mencionar que si bien la llamada "frontera agrícola" se acerca a los 30 millones de hectáreas, son precisamente las condiciones del clima las que establecen los límites año con año, principalmente la lluvia y con menor frecuencia las heladas.

Así, en el año agrícola de 2001 la superficie cultivada alcanzó 21.6 millones de hectáreas; 16.7 millones de temporal y 4.9 millones de riego. En el año agrícola del 2003 la superficie cultivada fue de 21.8 millones de hectáreas, de las cuales 16.7 millones fueron de temporal y 5.1 millones de riego.

Vale la pena destacar que el valor de la producción agrícola, por hectárea, a pesos del 2003, fue como sigue:

Riego	$20,493
Temporal	5,834

En términos globales una hectárea de temporal en la agricultura mexicana produce en valor monetario solo un poco más del 25% de lo que produce una hectárea de riego. Sin embargo, también la incertidumbre del clima y los siniestros pocas veces previsibles que provocan en la agricultura pérdidas totales y parciales, hacen de la agricultura de temporal, una muy difícil actividad que merece apoyos tecnológicos, financieros, de comercialización mucho más sólidos que los que hasta ahora se les ha brindado, para mejorar su condición actual o propiciar la diversificación de cultivos.

Cabe destacar que en 1975 la superficie ocupada por asentamientos humanos, áreas industriales y de recreo, alcanzaba en el país 451 mil hectáreas. En el año de 2004 esta superficie se elevó a 1 millón 120 mil hectáreas, un incremento del 148%. .

El significado es claro, un éxodo del campo a las ciudades dentro y fuera del país.

Fuentes: INEGI, SAGARPA, Investigaciones del autor.

4. Las Regiones agrícolas

1) Mar de Cortés.
    a) Valle de Mexicali y San Luis Rio Colorado (B.C. y Son)
    b) Valles de los ríos Yaqui y Mayo (Son)
    c) Valles del Fuerte y de Culiacán. (Sin)
2) Occidente (Sur Sin., Nay, Jal., sur Mich., Col)
3) Pacífico Sur (Costas de Chiapas, Oaxaca y Guerrero)
4) Norte (Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Zacatecas norte y San Luis Potosí sin Huasteca).
5) El Bajío (Guanajuato sin el norte del estado), Querétaro sin Huasteca, Michoacán sin el norte, Aguascalientes y sur de Zacatecas)
6) Centro-Valles Altos (México, Puebla sin Huasteca, Hidalgo sin Huasteca, Tlaxcala, Morelos norte)
7) La Laguna (Coahuila suroeste y Durango este)
8) Golfo Norte (Tamaulipas sin Huasteca).
9) Huastecas (Limites de los estados vecinos de Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Puebla, Hidalgo y Querétaro).
10) Golfo Centro (Veracruz centro)
11) Cuenca del Papaloapan (Sur de Veracruz, noreste de Oaxaca)
12) Valles Centrales de Chiapas y Oaxaca
13) Peninsular (Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Tabasco)

Fuente: IMF, A.C. “Las Regiones Agrícolas de México”. 2005

5. Principales cultivos en las regiones agrícolas

Tabla 5.1 Principales cultivos en las regiones agrícolas

Región Agrícola	Zona	Cultivos
1) Mar de Cortés	a)Valle de Mexicali y San Luis Río Colorado b) Valles ríos Yaqui y Mayo c) Valles del Fuerte y Culiacán, Sin	Trigo y algodón Trigo y cártamo Maíz, hortalizas y frijol
2) Occidente	Sur Sin, Nay, Jal, sur Mich, Colima	Maíz, caña de azúcar, aguacate y agave tequilero.
3) Pacífico Sur	Costas de Chis, Oax y Guerrero	Café, frutales (plátano, mango) copra.
4) Norte	Chih, Coah, Dgo, N.León, Zacs norte y SLP sin huasteca	Maíz, frijol y avena
5) El Bajío	Gto sin el norte del estado, Qro sin huasteca, Mich sin el norte, Ags y sur de Zacs	Maíz, sorgo y hortalizas
6)Centro-Valles Altos	México, Pue e Hgo, sin huasteca, Tlax y Morelos norte	Maíz, avena y cebada
7) La Laguna	Coah sureste y Dgo este	Forrajes y maíz
8) Golfo Norte	Tamaulipas sin huasteca	Maíz y sorgo
9) Huastecas	Limites de los edos vecinos de Tamp, Ver, SLP, Pue, Hgo y Qro	Maíz, caña de azúcar y café
10) Golfo Centro	Veracruz centro	Caña de azúcar, café y cítricos
11)Cuenca del Papaloapan	Sur de Veracruz, NO de Oaxaca	Caña de azúcar y maíz
12) Valles Centrales de Chis y Oax	Valles centrales de Chis y Oax	Maíz y frijol
13) Peninsular	Yucatán, Q. Roo, Campeche y Tabasco	Maíz, cacao, caña de azúcar y cítricos

Nota.- El criterio de selección estuvo representado por la extensión de las superficies sembradas.
FUENTE. SAGARPA

6. Principales cultivos en la República Mexicana

Tabla 6.1 Cultivos cíclicos, año agrícola 2004, superficie, tecnologías riego y temporal. Producción - Valor
(miles de hectáreas, miles de toneladas y millones de pesos)

Cultivos	Superficie Temporal	Producción	Superficie Riego	Producción	Superficie Total	Producción Total	Valor Total
Maíz grano	7077	13251	1327	8433	8404	21684	36401
Frijol	1633	897	189	268	1822	1165	6662
Sorgo Grano	1603	4826	351	2178	1954	7004	9308
Trigo	143	225	392	2095	535	2320	3852
Cebada	245	457	87	475	332	932	1668
Cártamo	98	61	126	170	224	231	544
TOTAL	10799	19717	2472	13619	13271	33336	58435

La superficie total sembrada con cultivos cíclicos en el año de 2004, alcanzó 16 millones de hectáreas; 3 millones 619 mil de riego y 12 millones 455 mil de temporal.

El valor total de la producción ascendió a 125 mil millones de pesos, tomando para todos los productos el precio medio rural.

La superficie total cosechada, llegó a 14 millones 800 mil hectáreas, de modo que se perdió por diversas causas, principalmente siniestros ocasionados por el clima, el 8% de la superficie sembrada.

Tabla 6.2 Principales cultivos perennes en la República Mexicana. 2004
Miles de hectáreas, miles de toneladas y millones de pesos.

Cultivo	Superficie cosechada	Producción	Valor
Caña de azúcar	657	50,893	20,205
Cítricos	509	6,704	7,140
Aguacate	100	987	6,086
Alfalfa	354	20,112	7,313
Café cereza	761	1,697	2,866
Nuez Pecanera	50	79	2,848
Plátano	79	2,361	3,392
Uva	33	305	2,400
Manzana	59	573	2,036
Mango	166	1,575	3,411
TOTAL	2,768	85,286	57,697

La superficie total sembrada con cultivos perennes en el país alcanzó 5 millones 780 mil hectáreas, de las cuales 1 millón 462 mil son de riego y 4 millones 338 mil de temporal.

La superficie cosechada fue de 5 millones 385 mil hectáreas.

El valor de la producción se elevó a 85 mil 520 millones de pesos.

Es interesante mencionar que en el riego, el valor de la producción por hectárea fue de $30,455.00 y en el temporal el valor fue de $10,950.00 por hectárea cosechada.

Fuente: Sagarpa-Siap.

7. Calificación tecnológica de la agricultura en las regiones agrícolas de México

Hemos seleccionado como factores de clasificación los siguientes:

a) Origen del agua: lluvia (temporal). Riego: presa, pozo, río, laguna.
b) Uso de semilla: mejorada y no mejorada
c) Fertilización: alta, media y baja. Se refiere a la cantidad de nutrientes por unidad de superficie y ciclo. No está relacionada con su calidad.

   En casi todo el territorio nacional, la fertilización es deficiente, no balanceada. Su aplicación física, manual y con máquina deja mucho que desear.
d) Mecanización: alta media y baja. Considera tractores, cosechadoras, implementos.

Tabla 7.1 Calificación tecnológica de la agricultura en las regiones agrícolas de Mexico.

REGION	AGUA	SEMILLA	FERTILIZACION	MECANIZACION
Mar de Cortés	Riego	Mejorada	Alta	Alta
Occidente	Temporal	Ambas	Media	Media
Pacifico Sur	Temporal	Ambas	Baja	Baja
Norte	Temporal	Ambas	Baja	Baja
El Bajío	Ambos	Mejorada	Baja	Media
Centro	Temporal	No mejorada	Baja	Baja
La Laguna	Riego	Mejorada	Media	Alta
Golfo Norte	Ambos	Mejorada	Baja	Media
Huastecas	Ambos	No mejorada	Baja	Baja
Golfo Centro	Ambos	Ambas	Baja	Baja
Papaloapan	Temporal	No mejorada	Media	Baja
Valles Chis, Oax	Temporal	Ambas	Media	Baja
Peninsular	Temporal	No mejorada	Baja	Baja

Es importante mencionar que la región de la Cuenca del Papaloapan, hoy prácticamente en su totalidad con régimen de temporal, podrá acceder en superficies importantes al riego ya que la veda para derivar aguas del río Papaloapan, está por levantarse.

Las regiones que persisten en el uso de semillas no mejoradas (criollas), lo hacen en virtud de una magnífica adaptación al medio de este material genético, que si bien no les garantiza altos rendimientos como las semillas mejoradas, sí les garantiza que prácticamente en cualquier condición de clima van a tener cosecha y por lo tanto alimento para su familia.

En las regiones con baja fertilización, esta condición se debe a la falta de crédito y al gran incremento en el precio de los fertilizantes que son ahora en México importados en un 80%.

En las regiones con bajo índice de mecanización, esto se debe a la orografía, falta de crédito, el diseño y la potencia de la maquinaria e implementos que se hizo para condiciones distintas tanto de carácter físico como de carácter social. El minifundio que es una realidad en nuestro país, debe contar con las máquinas idóneas. No es difícil observar en la agricultura de baja densidad económica, temporalera, minifundista, a una máquina trilladora con motor de mas de 300 caballos de potencia, costosísima, levantando “la cosecha de cebada o trigo de temporal, con un rendimiento de mil o mil quinientos kilos por hectárea: Como es normal, la maquinota se lleva las pocas utilidades del agricultor.

8. Los seres humanos

Con base en el XII Censo General de Población y Vivienda 2000 del INEGI, la CONAPO, proyectó la población en México para el año de 2005 y este cálculo nos indica que para finales del año mencionado habitábamos en México 106 millones 306 mil personas. De esta población, el 25% se ubicaba en las zonas rurales.

En el sector rural encontramos según INEGI, 3 millones 770 mil unidades de producción de las cuales pertenecen al sector ejidal 2 millones 619 mil, al sector privado 1 millón 21 mil y son mixtas 131 mil.

Al analizar los datos, queda claro el minifundismo de la agricultura mexicana, ya que por ejemplo en el sector ejidal las unidades menores de 5 hectáreas representan el 62% del total de las unidades.

Para el caso de la pequeña propiedad, las unidades con una superficie menor de 5 hectáreas representan el 68%

Los seres humanos que trabajan en estas unidades de producción, alcanzan para todo el sector rural 10 millones 831mil, de los cuales son hombres 9 millones 357 mil. De este total, en el sector ejidal y mixto laboran 7 millones 719 mil personas de las cuales son mujeres 1 millón 57 mil.

Esta mano de obra se divide en No remunerada y remunerada. La primera alcanza el 79% y a su vez la componen la mano de obra familiar y la no familiar, siendo la primera la de mayor peso dentro de esta clasificación.

En cuanto a la mano de obra remunerada, que alcanza a los 2.3 millones de personas hombres y mujeres, se divide en permanente y eventual, siendo ésta última la de mayor proporción (82%) con 1.7 millones de hombres y 160 mil mujeres. ***(anexo I.4)***

También el INEGI nos informa que para el año 2001 existían en México, 30,305 Ejidos y Comunidades agrarias, con una superficie parcelada de 34 millones 436 mil hectáreas y una superficie total, incluida la anterior, que había sido dotada y restituida, de aproximadamente 105 millones de hectáreas, de las cuales 69 millones son de uso común. Estos 105 millones representaban en el año mencionado, la propiedad social en México. ***(anexo I.5)***

La población de ejidatarios en la República alcanzaba aproximadamente 3.5 millones de personas en usufructo de la tierra y la dotación ejidal promedio per cápita se aproxima a cuatro hectáreas, cuando parcelada.

En estas tierras se comprenden espacios de bosques, selvas, áreas cerriles con agostaderos naturales para ganadería extensiva; praderas para ganadería intensiva; terrenos agrícolas de temporal y de riego.
Aquí, consideramos importante analizar las condiciones generales de la agricultura en México, antes de las modificaciones al artículo 27 Constitucional, en materia agraria, ocurridas en el año de 1992.

Estas modificaciones son un verdadero parteaguas en lo que se refiere a las políticas hacia el campo mexicano.

Antes de las modificaciones, la banca oficial, del Gobierno Federal, habilitaba un poco más de 8.0 millones de hectáreas por año, y aseguraba 8.4 millones de hectáreas, principalmente en zonas de regular y buen temporal. Ahora, la banca oficial habilita alrededor de un millón de hectáreas y las aseguradoras privadas al campo protegen una superficie aún menor que ésta y desde luego principalmente en áreas de riego y de buen temporal.

El apoyo mencionado, hoy significativamente reducido, ha golpeado fuertemente a los agricultores más débiles, con frecuencia minifundistas de temporal de cultivos básicos y los ha obligado a rentar sus parcelas y aún a venderlas después de llenar los requisitos establecidos por la ley.

Todo lo anterior se menciona porque hoy no es fácil conocer ni el número ni la superficie de ejidatarios y tierras ejidales que ellos trabajan ya que, aunque la renta y la venta de parcelas ya se permite, también se oculta.

¿Cuántos de los millones de migrantes han abandonado sus parcelas en los últimos diez años? nos lo indica la despoblación y la feminización del campo, aún en la áreas de riego.

8. 1 Sobre el Ejido, antes y después

Los campesinos de México con toda su compleja herencia, pesada vivencia y sometimiento, llegan a la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX y logran integrar al hombre, los pueblos y la tierra, en una unidad de convivencia, producción y trascendencia que se llama Ejido, forma de organización social, que en México, realmente nunca ha sido entendida por las otras partes de la comunidad nacional.

Se supuso la restitución de las tierras a sus poseedores originales, como un acto de justicia, ya que éstas les habían sido arrebatadas por los conquistadores-colonizadores

La entrega de tierras como consecuencia de la Revolución Mexicana, abarca también, necesariamente, a la población mestiza del sector rural con el objetivo principal de que una parcela generalmente pequeña fuera trabajada por el titular y su familia para su sostenimiento o bien, en los ejidos colectivos para la convivencia y desarrollo de los pueblos.

Los Ejidos, con personalidad jurídica propia, se conciben y organizan legalmente como imprescriptibles, inalienables, inembargables, obviamente estas tierras no se pueden vender, ni rentar, se pueden heredar cumpliendo reglas y quien no cumpla con trabajarlas y con su responsabilidad social, se le inicia un juicio de privación de derechos agrarios. Se atiende así, al paradigma de que "la tierra es de quien la trabaja".

El Ejido cumplió sobradamente con su cometido y produjo grandes excedentes de productos agropecuarios y forestales en tanto tuvo apoyos crediticios, técnicos y de comercialización. Estos apoyos le fueron retirados para que las radicales modificaciones al Artículo 27

Constitucional en materia agraria, hicieran posibles grandes cambios en la materia a partir de 1992.

Ahora, la parcela ejidal, las tierras ejidales, pueden, siguiendo un procedimiento que mucho apoya el Gobierno, pasar a ser propiedad privada (ya no social) y venderse, rentarse, enajenarse. Estos cambios se impusieron a las comunidades y ejidos. Tal vez la más objetiva y clara expresión del agrarismo en México pertenece a un norteamericano, cuando dice en su libro sobre Emiliano Zapata: **"Este es un libro acerca de unos campesinos que no querían cambiar y que, por eso mismo, hicieron una revolución".- "Womach".**

9. La Organización de la Agricultura en México

La organización de la agricultura en México ha transitado como es natural, por varias etapas legales, institucionales, sociales y económicas.

Las que se refieren a los aspectos legales de carácter histórico se han plasmado en las tres formas de propiedad de la tierra que establece la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que son el ejido, la comunidad y la propiedad privada.

Estas formas de organización son aún vigentes, con los cambios sustantivos ya mencionados.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, las sucesivas Leyes Agrarias, las Leyes de Crédito Agropecuario y del Seguro Agrícola y Ganadero, la Ley de Instituciones Auxiliares del Crédito, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, hasta llegar a la más reciente ley gremial: Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, dan cuenta de los esfuerzos de los distintos gobiernos por dar marco jurídico a la organización del campo, independientemente de los giros a veces de ciento ochenta grados de la filosofía que las ha inspirado.

Desde el punto de vista institucional, la organización de la agricultura en México se apoyo en las Secretarias de Agricultura y Recursos Hidráulicos; Secretaria de la Reforma Agraria del Ejecutivo Federal; el crédito y el financiamiento de tres grandes bancos en apoyo del desarrollo del sector, que financiaban aproximadamente el 40% de la demanda nacional de crédito, independientemente de las financieras e institutos que acreditaban a los productores de caña y de café

Con el propósito de relevar al agricultor de los riesgos principalmente climáticos que conlleva la agricultura, principalmente la de temporal, la nación mexicana con base en la Ley del Seguro Agrícola, instituyó a la Aseguradora Nacional Agrícola y Ganadera.

Además, instituciones como la CONASUPO, hacían posible la operación de los precios de garantía para los productos básicos, el ágil pago de las cosechas y un sistema de almacenamiento y distribución que aseguraba el abasto para la población bajo la responsabilidad de una institución especializada del Gobierno Federal denominada Almacenes Nacionales de Depósito. Los Ferrocarriles que hasta hace pocos años pertenecían a la nación,

se encargaban del transporte de los productos agrícolas de las zonas de producción a los grandes centros de consumo.

Una población que crecía con un dinamismo que llegó a alcanzar el 3.5% anual, demandaba de un paralelo esfuerzo de incremento en la productividad y en las superficies cultivadas, principalmente el primero ya que la incorporación de nuevas áreas a la agricultura no puede ser tan dinámica y su frontera límite en el caso de nuestro país ha sido muy cercana. En tal virtud, se apoyó la creación de Institutos nacionales, principalmente de investigación agropecuaria y forestal; de la industria azucarera; para el mejoramiento de la cafeticultura y de las zonas áridas.

A partir de la etapa presidencial del Gral. Lázaro Cárdenas del Río, se fomenta la educación agrícola media y superior en toda la república.
De todos los apoyos institucionales mencionados, podemos decir que se conserva poco, tanto en sus objetivos como en su capacidad de operación, baste mencionar que el servicio de extensión agrícola y transferencia de tecnología, prácticamente no existe en el país.

Las instituciones de crédito se encuentran grandemente disminuidas. La Aseguradora Nacional opera como reaseguradota muy reducida. La Conasupo y Almacenes Nacionales de Depósito desaparecieron por completo. Los Ferrocarriles se privatizaron y no han crecido en su cobertura absolutamente nada. El reparto agrario se dio por terminado y las grandes obras de irrigación son prácticamente las mismas que hace 30 años.

Cuando se intensifico el reparto de la tierra en la década de los treinta del siglo pasado, se organizaron los grandes ejidos colectivos en Yucatán, Michoacán, La Laguna y Sonora y de menor tamaño se hicieron los esfuerzos en toda la república. Sin embargo con el devenir de los años, se descubrió que la vocación de la mayor parte de los campesinos de México, no comulgaba con la organización colectiva. La excepción y desde luego a su manera, está aun representada por las comunidades indígenas.

El Gobierno de la República intentó apoyar la organización económica de la agricultura al través de Uniones de Ejidos, Sociedades de crédito, Grupos solidarios, Sociedades de producción rural, sin buenos resultados ya que, por ejemplo, ni siquiera pudo aplicarse en lo que al crédito se refiere, la famosa responsabilidad solidaria.

Hemos tardado demasiado tiempo en darnos cuenta que las formas de organización económica, y del trabajo, en el sector campesino de México, debe ser inmanente de los propios campesinos y que la intención política que se aplicó en el pasado para organizar a los productores del campo, fracasó por su propia esencia.

En nuestra opinión es claro que deberán ser ellos, los productores los que encuentren las formas de organización y a la luz de algunos resultados vigentes, es la organización cooperativa como la de los cañeros, la que con diversas modalidades pudiera prosperar.

Al referirnos a la organización económica, actualmente parecen progresar los Fondos de Inversión y Capitalización (FINCAS) y en una etapa superior las SOFOLES Sociedades Financieras de Objeto Limitado, integradas por los propios productores del campo.

Como un hito de éxito organizativo en el campo mexicano, debemos distinguir a los Fondos de Auto-aseguramiento que integrados únicamente por agricultores, ofrecen ya una creciente seguridad en el campo digna de mayor apoyo.

Las Cadenas Sistema-Producto previstas por la Ley de Desarrollo Sustentable y que se han intentado poner en práctica, parecen no prosperar ya que tratan equivocadamente de aglutinar intereses y culturas muy diferentes.

9.1. La autosuficiencia alimentaria

México hoy, gracias principalmente al petróleo y a las remesas de nuestros emigrados, tiene soberanía alimentaria, ya que puede importar sus grandes faltantes de productos básicos para la nutrición del pueblo. Lo que obviamente no alcanza es la autosuficiencia alimentaria, de eso, estamos muy lejos, véase si no:

En el año 2004-2005 importamos 6 millones de toneladas de maíz, 2.9 de sorgo, 3.7 de trigo, 0.55 de arroz, 3.5 de soya; 287,000 toneladas de carne de res, 458,000 de carne de cerdo. También importamos aunque en menor proporción, carne de pollo.

La información anterior que procede del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, de su informe de marzo del 2006, es claramente alarmante, pero lo es más aún, la tendencia en las importaciones de estos productos proyectada al año 2015-16 que sólo por mencionar el maíz, al trigo y al sorgo, alcanzarán si nosotros no hacemos lo pertinente, los 13.5 millones de toneladas del primero, 5 millones del segundo y 3.3 millones de toneladas de sorgo.

Se calculó el grado de autosuficiencia de los principales cultivos el cual se presenta en la siguiente:

Tabla 9.1 Grado de autosuficiencia de los principales productos agrícolas para el año de 2004. (a precios corrientes y en miles de dólares)

Cultivo	**Valor de producción 1/ (a)**	**Importaciones 2/ (b)**	**Exportaciones 2/ (c)**	**Consumo Aparente d=a+b-c**	**% de auto suficiencia e=a/d*100**
Trigo	345,4432	617,766	49,212	913,996	37.8
Maíz	3’244,212	745,124	7,417	3’981,919	81.5
Arroz	45,345	184,953		230,299	19.7
Sorgo grano	834,810	423,992		1’258,802	66.3
Frijol común	597,608	40,918		638,526	93.6
Soya	32,519	1’107,990		1’140,509	2.9
Colza	722	362,486		363,208	0.2
Chiles	882,517		576,692	305,825	288.6
Tomates	1’512,403	23,087	909,387	626,103	241.6
Cebollas	295,095		214,091	81,004	364.3
T o t a l	7’790,674	3’506,316	1’756,799	9’540,191	81.7

Fuente: 1/ Sagarpa
2/ Banco de México

Es oportuno destacar, el que, para los productos que integran la alimentación básica del pueblo de México como lo son el maíz, el trigo, el arroz y las oleaginosas, la dependencia de las importaciones es claramente excesiva. Aquí el indicador de autosuficiencia es del 60 %.

El 82% de autosuficiencia que se muestra en el cuadro anterior, se alcanza al tomar en cuenta la producción y el consumo de productos hortícolas en los cuales somos claramente autosuficientes y exportadores.

9. 2 La productividad

La información de la SAGARPA, nos indica que en el lapso comprendido entre 1995 y 2004, la productividad creció para los granos básicos en un 21% a una tasa promedio de 2.29% anual. Si este incremento de productividad sostenido llama la atención por su magnitud, más aún llama la atención, el aumento de la productividad del maíz grano que fue del 23%.

Considerando los aumentos de la productividad en el maíz de las buenas zonas de riego de Sinaloa, resulta interesante conocer que aún en etapas en que se han retirado los apoyos

institucionales del crédito y la asistencia técnica a los agricultores, pudimos sostener en el alimento básico del pueblo muy buenas tasas en el incremento de la productividad.

En este sentido y con la información disponible, preocupa el bajo aumento en la productividad de la soya, el ajonjolí y el cártamo.

De los cultivos perennes, la caña de azúcar es con mucho, el cultivo que produce el más alto valor para la nación y resulta conveniente recordar que en términos de productividad esta se ha incrementado en el lapso de análisis en lo que se refiere al rendimiento de tallos por hectárea en un 11.23% o sea un promedio de 1.25% anual. El azúcar producido por hectárea, aumentó su productividad en un 16.29% o sea 1.81% anual.

Si observamos el incremento comparativo en la productividad del maíz y de la caña, vemos que el primero creció a una tasa doble que el segundo Si por otra parte sabemos bien que la caña de azúcar es el cultivo más rentable de la agricultura de cultivos básicos y aún de cultivos industriales y frutales y también el que se fertiliza casi en la totalidad de sus superficie, la cual se riega en un 35%, entonces, se justifica aún más el análisis cuidadoso de las condiciones que han permitido el mejoramiento de la productividad en el cultivo del maíz para extrapolarlas en lo posible a los cultivos de arroz, frijol y oleaginosas.

9. 3 Los insumos: Los fertilizantes

Después del agua de riego, cuando esta es la tecnología, el fertilizante es el insumo más importante para conservar la fertilidad de los suelos y elevar la producción y productividad agrícolas. En el caso de la agricultura de temporal, el fertilizante es el insumo de mayor importancia.

A partir de comprender y justipreciar las experiencias claramente demostradas en el mundo entero, que se expresan como sigue:

a) Aún más del 40% del gran incremento en la producción de cereales en las últimas décadas, en el mundo, se atribuye al aumento en el uso del nitrógeno fertilizante (FAO).

b) Sin fertilizante las variedades con alto potencial de rendimiento y calidad, no producen más, ni mejor, que las variedades tradicionales.

c) El cultivo de la tierra con las tecnologías apropiadas, entre las cuales destaca la nutrición vegetal ha propiciado el que, si hace 30 años el abastecimiento mundial de alimentos representaba 2,360 calorías diarias por persona; a mediados de los años 90 se alcanzaron 2,740 calorías diarias por persona. (FAO)

Concluimos que, la casi desaparición de la planta industrial productora de fertilizantes en México, en su tiempo aún exportadora, según el simplista razonamiento de aplicar al gas natural, materia prima principal, producido por PEMEX, el precio más alto de mundo, será resuelta, con el apoyo de la “Ley de Gas Natural de Proceso, Amoníaco y Fertilizantes Nitrogenados”.

Esta Ley permitirá evitar el absurdo de tener una gran planta industrial productora de amoníaco, en manos del Estado (PEMEX) operada a menos del 20% de su capacidad (una de seis plantas) y reactivar las industrias mexicanas de urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio, fosfato de amonio y complejos.

Ha sido muy grave la disminución real del uso de fertilizantes en los últimos años, al compararse con el año de 1996, en el cual todavía operaba nuestra industria. En ese año la aplicación de nitrógeno fue de 70 kilos por hectárea, abatiéndose a solo 53 kilos por ha cultivada en el año de 2003.

En el ***anexo I.6*** encontramos que el consumo nacional de fertilizantes nitrogenados, amoniaco equivalente para el año de 2003 alcanzó 1 millón 434 mil toneladas, lo cual representó una disminución de 388 mil toneladas, al comparar este consumo con el del año 1996 que fue de 1 millón 822 mil toneladas de amoniaco equivalente. Así será muy difícil aumentar la productividad y evitar el deterioro de los suelos agrícolas del país.

Aquí, es de importancia mencionar que a los elevados precios de los fertilizantes que hoy se consumen en el país, este insumo representa entre el 25 y el 35% del costo de producción de los granos básicos, según se trate de tecnologías de riego o de temporal.

Es en nuestra opinión de una claridad meridiana, el ejemplo de las relaciones de intercambio del maíz, con el nitrógeno fertilizante para el caso de los distritos de riego de Sinaloa que son los más eficientes productores de maíz en la República. Aquí, a pesar del incremento de la productividad en los rendimientos del maíz que pasó ene el lapso de 1997 a 2004 de 7.49 a 8.72 toneladas por hectárea, es decir, 16.4% de aumento, las relaciones de cambio para este grano con el nitrógeno se deterioraron en contra del agricultor en un 66%.

En Veracruz, para este mismo cultivo que no ha tenido incrementos de productividad significativos, las relaciones de intercambio con el nitrógeno se deterioraron en un 76%.

En lo que se refiere a los productos agroquímicos, es satisfactorio conocer el que nuestros agricultores cuentan con los productos más modernos y a precios similares al que los adquieren los agricultores de otros países como los propios EUA y América Latina.

El insumo genético representado por las semillas, sean estas criollas ó híbridas, tiene la sola limitación comparativa con otros países del mundo en las restricciones, razonadas, de las transgénicas y genéticamente modificadas.
En el caso de los materiales vegetativos para la reproducción, se debe reconocer el atraso en la producción de materiales, pero sobretodo de la investigación y experimentación agrícola.

En el caso de los combustibles particularmente el diesel, el incremento de los precios en los últimos años que se ha tratado de paliar con éxito solo mediano, con programas de subsidio gubernamental, a favor de los agricultores, no debe seguirse agravando, seria demasiado oneroso. De seguir el aumento de precios, como parece ser según la tendencia, del aumento en los precios del petróleo crudo, los agricultores organizados se verán obligados para su propio beneficio, a acelerar la producción del Biodiesel y cubrir así su demanda.

Las tarifas de la energía eléctrica también han incrementado su costo de manera significativa a pesar de los programas gubernamentales, ya que si bien estos impiden elevadas tasas de aumento, solo cubren consumos limitados de tal modo que el alumbramiento real de agua en los pozos, necesario para el buen riego, supera con mucho el limite de las tarifas subsidiadas y así los costos de este insumo siguen repercutiendo negativamente sobre las utilidades de los productores.

9.4 Extensión agrícola

Esta sustantiva actividad es entendida como un proceso continuo para hacer llegar información útil a la población, para luego ayudarla a adquirir los conocimientos técnicos y aptitudes necesarias para aprovechar eficazmente esa información tecnológica.

"El objetivo del proceso extensionista, es hacer posible que la gente utilice esas técnicas y conocimientos, así como la información para mejorar sus condiciones de vida "(Swanson).

Así, se podría pasar con la aceptación de los agricultores y ganaderos, de los métodos tradicionales de producción a nuevos elementos técnicos, nuevos cultivos y hasta nuevos sistemas agrícolas.

En México, el concepto de extensión ha sido siempre más limitado sobre todo en los últimos tiempos, en los que el Gobierno ha modificado su papel en la extensión agrícola para concentrarse en apoyar programas de transferencia de tecnología, a través de agentes externos.

El Gobierno federal asumió durante muchos años la tarea del extensionismo agrícola (más bien, programas de tecnología) en los cuales la vertiente de capacitación resultó fallida, porque primero había que enseñar a leer y hacer cuentas a los capacitandos.

Los técnicos, con frecuencia sin formación universitaria eran servidores públicos mas entusiastas que preparados y trabajaban para las Secretarias de Agricultura y Reforma Agraria, los bancos de crédito agrícolas oficiales y los pocos institutos de investigación agropecuaria y forestal. En esta materia las universidades han brillado por su ausencia.

Para sus limitados recursos, se lograron buenos resultados en la adopción por una alta proporción de campesinos y agricultores de las técnicas para la fertilización de cultivos básicos, el uso de semillas mejoradas y agroquímicos, así como control integrado de plagas y métodos modernos de riego. En lo pecuario se avanzo en la nutrición animal y en el mejoramiento genético de los hatos y por ello, en la productividad.

Sin embargo, estas sustantivas tareas han sido prácticamente abandonadas por el estado para quedar en manos, si acaso de las empresas vendedoras de semillas, agroquímicos, equipos de riego y alimentos balanceados para animales, siempre con la parcialidad de los intereses comerciales. Aquí vale la pena subrayar los esfuerzos que están ya realizando las organizaciones locales de cañicultores para iniciar en cada zona de abastecimiento la estructuración de sus "oficinas técnicas de campo"

9.5 Programas de irrigación, control de avenidas y drenaje *(anexo I.7)*

La información de INEGI, nos da cuenta de las principales presas según capacidad de almacenamiento y uso, 2004, en donde, quedan claros los propósitos de esta obras en lo relativo al control de avenidas, para evitar inundaciones. Son muchas las grandes obras hidráulicas que tienen ese cometido.

En lo que se refiere al problema del drenaje en gran escala, no así el parcelario, es importante mencionar que este problema seguirá creciendo en la medida en que la deforestación lo haga. La tala de los bosques de la nación ha sido una de las grandes calamidades que hemos padecido, pues no es solo el gravísimo daño a nuestros bosques y selvas sino la erosión de nuestros suelos y el azolvamiento de ríos que se salen de madre con mucho mas frecuencia, de cuerpos de agua que disminuyen su capacidad, sobre todo de las presas de almacenamiento, que ya no guardan los volúmenes originales y reducen así su capacidad de riego.

10. Exportaciones e Importaciones agrícolas de México (*anexo I.8*)

El valor de las exportaciones agrícolas del año 2005 con cifras preliminares, ascendió a 4,967 millones de dólares el cual refleja un incremento de 10.6% con relación al año anterior. Este valor también representa el 42% del total de las exportaciones agroalimentarias cuyo monto total es de 11,856 millones de dólares.

Las exportaciones agrícolas son principalmente de hortalizas y frutas, destacando por su valor las siguientes:

Tomate fresco o refrigerado; otras legumbres y hortalizas frescas; pimiento; aguacate; melón, sandia y papaya frescos; pepino y pepinillo; cebolla; café sin tostar y descafeinar; cítricos frescos; uvas frescas o secas, pasas; almendras, nueces y pistaches, alcanzando estos productos el 78% de las exportaciones agrícolas.
En cuanto a las importaciones agrícolas que ascienden a 5,022 millones de dólares, son principalmente de granos básicos y oleaginosas: trigo; maíz; arroz; sorgo grano; soya; colza y algodón que representan el 70.3% de este valor.

El valor total de las importaciones agrícolas representa el 35% del valor total de las importaciones agroalimentarias que ascendieron a 14,293 millones de dólares.

Nótese las diferentes proporciones de lo exportado e importado en materia de productos agroalimentarios, es evidente que de de las importaciones agroalimentarias, nosotros recibimos del extranjero mayor valor agregado.

11. Cultivos energéticos

En México, en virtud de las características de su producción agrícola, su bajo grado de autosuficiencia alimentaria, de la organización social en la producción de maíz y sus generosos trópicos, debemos mencionar en primer lugar a la caña de azúcar, a la remolacha azucarera y a la yuca como materias primas prioritarias para la producción de Bioetanol. También, en determinadas zonas con problemas puntuales de calidad de suelos o de carácter climático, que se reflejan en baja productividad y desperdicio de recursos, se podrían considerar los cultivos del trigo y del sorgo.

De caña de azúcar se cultivan actualmente en México un poco mas de 750 mil hectáreas en 15 estados de la República y hasta ahora con propósitos exclusivos de producción de azúcar.

La remolacha azucarera se ha cultivado en la Región del Mar de Cortés, con propósitos exitosos de demostración, pero actualmente estos esfuerzos están suspendidos. La remolacha forrajera se cultiva en superficies moderadas en las cuencas lecheras de la nación.

De yuca, en el año de 2004 se sembraron 1,336 has, principalmente en el estado de Tabasco. Vale la pena mencionar los esfuerzos realizados en esa entidad por el FIRA y los productores de la región, que lamentablemente no prosperaron por razones ajenas a los aspectos agrícolas.

En el caso de cereales, de los que somos deficitarios para la alimentación humana y que sin embargo podrían usarse como materia prima para la producción de Bioetanol, en condiciones específicas, con problemas locales de carácter técnico, económico y social, encontramos el trigo de Mexicali B.C, que por ubicarse muy lejano de los centros de consumo debe ser subsidiado sobre todo para su transporte. Así, la solución podría ser el darle valor agregado en el sitio a la producción del grano y la paja para la fabricación de Bioetanol para su consumo en el estado, mezclado con las gasolinas, a par y paso que se desarrollan las tecnologías para mejorar los suelos y elevar la productividad del cultivo.

12. Problemas en la penetración al mercado del Bioetanol y del ETBE

México como país petrolero, descuidó el desarrollo de sus recursos renovables para la producción de energía. Así, aquéllos que se pueden obtener del sol, el viento, la biomasa, no han sido apoyados o lo han sido tímidamente, hasta ahora.

Quizás las razones mas importantes que explican el descuido en el desarrollo de la biomasa, lo ha sido PEMEX y la falta de investigación y desarrollo científico y tecnológico alrededor de este recurso.

A PEMEX que es un monopolio constitucional, sólo le interesa vender sus combustibles crecientemente de importación y en realidad ha desalentado siempre los esfuerzos aislados que se han hecho en nuestro país para avanzar en la fabricación del Bioetanol. Los industriales del azúcar y las autoridades, sin visión: ni científica, ni ecológica, ni social, ni económica, en fin

sin visión de futuro, han cerrado instituciones de investigación y retirado presupuestos para el propósito.

Los cañicultores por su parte, con su buen mercado de los últimos años y su buen precio, no ven la tormenta que se avecina con la interpretación de los norteamericanos al Tratado de Libre Comercio en materia de edulcorantes.

13. Anexo

I. Clima de la República Mexicana

Principales tipos de climas, rangos de temperatura media anual y de precipitación total anual por entidad federativa.

Entidad Federativa	Tipo de clima	Rango de temperatura media anua (°C)	Rango de precipitación total anual (mm)
Aguascalientes	Seco	10 a 18	300 a 600
Baja California	Seco y muy seco	10 a 26	0 a 300
Baja California sur	Seco y muy seco	18 a 26	0 a 600
Campeche	Cálido subhúmedo	Mas de 26	1000 a 2000
Coahuila	Seco y muy seco	10 a 26	100 a 600
Colima	Cálido subhúmedo	22 a mas de 26	600 a 2000
Chiapas	Cálido húmedo Cálido subhúmedo Templado subhúmedo	10 a mas de 26	1000 a mas de 4000
Chihuahua	Templado subhúmedo Seco y muy seco	Menos de 10 a 22	100 a 2000
Distrito Federal	Templado subhúmedo	10 a 18	600 a 2000
Durango	Templado subhúmedo Y seco	Menos de 10 a 22	300 a 2000
Guanajuato	Templado subhúmedo Y seco	10 a 22	300 a 1000
Guerrero	Cálido subhúmedo Templado subhúmedo Y seco	10 a mas de 26	600 a 2000
Hidalgo	Templado subhúmedo Templado subhúmedo Y seco	18 a 22	600 a 4000
Jalisco	Cálido subhúmedo Templado subhúmedo Y seco	10 a mas de 26	300 a 2000
México	Calido subhúmedo y Templado subhúmedo	Menos de 10 a 26	600 a 2000
Michoacán	Cálido subhúmedo y Templado subhúmedo Y seco	10 a mas de 26	300 a 2000
Morelos	Cálido subhúmedo y Templado subhúmedo	10 a 26	1000 a 2000
Nayarit	Cálido subhúmedo	18 a mas de 26	1000 a 2000
Nuevo León	Templado subhúmedo Y seco	10 a 6	600 a 1000
Oaxaca (continua)	Cálido húmedo Calido subhúmedo Templado húmedo Templado subhúmedo Y seco	10 a mas de 26	300 a mas de 4000

Fuente: INEGI. Datos básicos de Geografía de México 1991.

Principales tipos de climas, rangos de temperatura media anual y de precipitación total anual por entidad federativa.

Entidad Federativa	Tipo de clima	Rango de temperatura media anua (°C)	Rango de precipitación total anual (mm)
Puebla	Cálido húmedo Cálido subhúmedo Templado subhúmedo Templado suhúmedo y seco	10 a 26	300 a 4000
Querétaro	Templado subhúmedo y seco	10 a 22	300 a 1000
Quintana Roo	Cálido subhúmedo	22 a mas de 26	1000 a 2000
San Luis Potosí	Templado subhúmedo Templado subhúmedo Y seco	10 a 22	300 a 2000
Sinaloa	Cálido subhúmedo seco y muy seca	18 a 26	300 a 2000
Sonora	Seco y muy seco	10 a 26	0 a 600
Tabasco	Cálido húmedo	Mas de 26	2000 a mas de 4000
Tamaulipas	Cálido subhúmedo Templado subhúmedo Y seco	18 a 26	300 a 2000
Tlaxcala	Templado subhúmedo y seco	Menos de 10 a 18	300 a 1000
Veracruz	Cálido subhúmedo y cálido subhúmedo y templado húmedo	10 a 26	1000 a 4000
Yacatán	Cálido subhúmedo	22 a mas de 26	300 a 2000
Zacatecas	Templado subhúmedo y seco	10 a 22	300 a 1000

Fuente: INEGI. Datos básicos de Geografía de México 1991

II. Uso del Suelo

Superficie por principal uso del suelo y tipo de vegetación, 2002

Uso del suelo y tipo de vegetación	Superficie (Kilómetros cuadrados)	Porcentaje
Total a/	1,934,194	100
Arbolado	690,185	35.7
Bosque	258,449	13.4
Bosque perturbado	88,175	4.6
Selvas	131,144	6.8
Selvas perturbadas	212,417	11
Vegetación de zonas áridas	576,344	29.8
Matorral, huizachal y mezquital	525,074	27.2
Matorral, huizachal y mezquital con vegetación se	51,269	2.7
Pastizales	277,858	14.4
Naturales	102,167	5.3
Cultivados e inducidos	175,691	9.1
Agricultura	302,016	15.6
Riego	88,578	4.6
Temporal y cultivos forestales	213,438	11
Otros tipo de vegetación b/	76,589	4
Asentamientos humanos	11,201	0.6

Nota: Los totales corresponden a las clases principales y pudieran no coincidir con las sumas debido al redondeo de las cifras

a/ Con base en la superficie total nacional, sin considerar cuerpos de agua.

b/ Incluye: Áreas sin vegetación aparente, bosque de galería, manglar, palmar, veget acuática, vegetación de desieros arenosos, vegetacion de dunas costeras, veg de galería, vegetación de gipsófila y halófila

SEMARNAT. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. México, D.F., 2003.

III. Principales usos del suelo y tipos de vegetación por entidad federativa (2002)

(Kilómetros cuadrados)

Entidad federative	Total	Bosques	Selvas	Matorral	Pastizal	Otros tipos de vegetación	Cultivos	Asentamientos humanos
Estados Unidos Mexicanos	1,934,194	346,624	343,561	576,344	277,858	76,589	302,016	11,201
Aguascalientes	5,590	1,005	349	396	1,400	0	2,336	103
Baja California	71,098	1,744	0	57,125	749	3,772	7,220	488
Baja California Sur	71,234	520	3,909	56,203	114	7,677	2,695	117
Campeche	55,539	0	42,853	0	6,246	4,244	2,062	134
Coahuila de Zaragoza	151,062	5,148	0	118,726	8,623	9,840	8,319	408
Colima	5,545	530	2,382	0	511	194	1,847	82
Chiapas	72,177	18,726	23,121	29	16,160	1,245	12,643	253
Chihuahua	246,686	71,773	5,253	88,598	45,761	17,061	17,589	651
Distrito Federal	1,480	383	0	7	109	16	375	590
Durango	123,020	53,218	5,489	29,476	19,443	2,945	12,214	235
Guanajuato	30,338	4,577	2,425	2,475	5,890	31	14,597	344
Guerrero	63,129	22,665	22,569	0	7,922	568	9,211	195
Hidalgo	20,749	5,024	1,226	2,815	2,579	9	8,941	153
Jalisco	77,138	24,430	19,650	174	13,458	327	18,372	728
México	22,144	6,307	1,095	184	3,620	142	10,004	792
Michoacán de Ocampo	57,862	16,485	18,623	32	5,765	203	16,253	502
Morelos	4,878	500	1,202	2	408	0	2,603	161
Nayarit	27,380	9,166	8,153	0	3,584	1,507	4,819	151
Nuevo León	64,069	5,713	0	37,427	10,851	1,651	7,803	624
Oaxaca	91,759	34,745	29,176	491	12,068	879	14,066	336
Puebla	49,998	7,944	8,052	2,863	7,458	586	22,375	720
Querétaro Arteaga	11,613	2,771	1,420	2,724	976	0	3,589	133
Quintana Roo	42,545	0	36,224	0	1,060	4,225	913	122
San Luis Potosí	60,995	4,594	3,985	31,436	7,598	1,308	11,726	346
Sinaloa	54,727	8,929	21,095	1,785	869	2,693	18,913	443
Sonora	178,375	20,422	33,399	90,121	16,527	3,953	13,435	518
Tabasco	23,720	61	2,151	0	13,627	5,104	2,655	123
Tamaulipas	76,574	5,990	7,190	24,639	16,070	2,529	19,505	651
Tlaxcala	3,976	673	0	89	322	5	2,850	38
Veracruz de Ignacio de la Llave	54,059	1,623	9,728	137	27,967	1,787	12,388	430
Yucatán	39,435	0	29,042	0	6,289	1,148	2,583	373
Zacatecas	75,300	10,958	3,800	28,391	13,835	940	17,115	260

Nota Cultivos de riego, de temporal y cultivos forestales. Bosques: incluye bosque perturbado. Selvas:incluye selva y selva perturbada; Matorrales incluye matorral, huizachal, mezquital y mezquital con vegetación secundaria. Pastizales incluye naturales y cultivados o inducidos. Otros tipos de vegetación incluye áreas sin vegetación aparente, bosque de galeria, manglar, palmar, vegetación acuática, de desiertos arenosos, de dunas costeras, de galaria, gipsófila y halófila. No se incluyen los cuerpos de agua.
FUENTE: SEMARNAT. Compendio de Estadísticas Ambientales. 2002. México, D.F. 2003.

IV. Número y superficie de las propiedades sociales según parcelamiento y distribución de la tierra no parcelada

(hectáreas)

Entidad federativa	Prpiedades sociales				Parcelamiento	y distribución de superficie	No parcelada	Otras superficies
	número	superficie total	superficie parcelada	supeficie total	uso comun	asentamiento humano	reserva de crecimiento	
Estados Unidos Mexicanos	30305	105052369.6	34436973.21	70329036.69	69076861.67	1111542.29	140632.73	286359.67
Aguascalientes	186	275586.49	116775	152418.43	142749.27	7594.84	2074.32	6393.06
Baja California	233	5948592.28	1512248.47	4436142.81	4411567.52	22994.16	1581.14	201.01
Baja California Sur	96	4895535.9	241459.51	4653231.75	4641392.31	8008.58	3830.87	844.63
Campeche	385	3360188.92	854455.83	2500144.09	2469805.66	24376.54	5961.89	5589
Coahuila de Zaragoza	877	6816690.96	1602197.79	5199173.46	5158603.66	34836.59	5733.21	15319.71
Colima	161	336146.1	250942.47	82912.35	79459.33	3245.23	207.8	2291.28
Chiapas	2057	3611312.24	2607717.52	1001037.99	942998.23	52954.69	5085.06	2556.72
Chihuahua	983	10369763.65	890433.48	9474231.05	9412809.07	55161.93	6260.05	5099.12
Distrito Federal	38	58236.79	7861.5	50375.29	47813.79	2547.5	14	0
Durango	1114	8651178.7	929697.78	7711589.06	7668869.67	38040.62	4678.77	9891.86
Guanajuato	1504	1325132.13	700787.09	611114.89	573773.79	35203.9	2137.2	13230.15
Guerrero	1236	5079379.42	2789179.17	2271234.94	2200651.74	67186.98	3396.23	18965.3
Hidalgo	1189	1104276.86	539287.35	555878.33	513028.23	37932.76	4917.34	9111.18
Jalisco	1408	3322959.77	1777654.17	1532279.28	1502790.48	27920.98	1567.81	13026.32
México	1233	1271792.44	713123.74	546643.53	476900.3	62772.01	6971.23	12025.16
Michoacán de Ocampo	1812	2910599.12	1612737.92	1290809.79	1243140.23	43868.33	3801.23	7051.41
Morelos	233	395570.12	184318.55	203855.92	177081.39	25205.24	1569.29	7395.66
Nayarit	403	2279803.78	879499.81	1395013.58	1375026.72	18590.52	1396.34	5290.39
Nuevo León	608	2115221.1	535204.81	1580005.92	1547895.23	25808.11	6302.58	10.37
Oaxaca	1600	8112308.66	2990235.54	5110927.81	5004549.2	98518.19	7860.43	11145.31
Puebla	1166	1613820.02	754750.7	840568.51	801746.49	36045.2	2776.82	18500.81
Querétaro Arteaga	370	582240.74	187549.63	394542.49	378256.83	14982.2	1303.46	148.63
Quintana Roo	278	2919219.55	506790.66	2411447.54	2373618.4	19777.17	18051.97	981.35
San Luis Potosí	1347	4155800.51	1243675.63	2898185.59	2808520.33	78598	11067.26	13939.28
Sinaloa	1288	3955759.21	1807170.44	2130537.95	2087262.53	41435.47	1839.96	18050.82
Sonora	986	6527174.08	1492209.98	5029672.08	4993866.57	27988.45	7817.06	5292.02
Tabasco	757	1115689.09	897736.98	202012.97	189127.86	12678.87	206.25	15939.14
Tamaulipas	1390	2627268.87	1421709.34	1187300.6	1152215.54	31651.53	3433.53	18258.93
Tlaxcala	242	201739.02	147381.49	46930.32	42972.12	3663.57	294.63	7427.21
Veracruz de Ignacio de la Llave	3624	2929834.92	2570284.89	330321.87	249318.03	78189.82	2814.02	29228.17
Yucatán	728	2339154.82	531868.9	1802909.07	1768541.68	27955.24	6412.15	4376.85
Zacatecas	773	3844393.34	1140027.08	2695587.43	2640509.5	45809.08	9268.85	8778.84

Fuente: INEGI. Estados Unidos Mexicanos. Resumen Nacional por Entidad. VIII Censo Ejidal, 2001.

V. Fertilizantes

Fertilizantes nitrogenados, año 2003, cifras en toneladas de amoniaco equivalente.

PRODUCTO (A)	CONSUMO NACIONAL (B)	CAPACIDAD INSTALADA (C)	PRODUCCION NACIONAL (D)	IMPORTACIONES (E)	SUMA DE LA OFERTA (F)	CONSUMO NACIONAL 1996 (G)	DIFERENCIA (H=B-G)
1.Amoniaco		1'914,000	524,519	35,163 *			
2. Amoniaco aplicación directa	192,256	192,256	192,256		192,256	326,189	(133,933)
3. Urea	740,004	974,639	0	740,004	740,004	819,024	(79,020)
4.-Nitrato de amonio**	56,915	311879	0	56,915	56,915	142,882	(85,967)
5. Sulfato de amonio	291,961	489,144	278,888	13,073	291,961	424,338	(132,377)
6. Fosfato de amonio	120,257	173,438	0	120,257	120,257	109,756	10,501
7. Nitrofosfatos abono NPK	32,793	38,130	0	32,793	32,793	En fosfatos	32,793
Total Solidos (3 a 7)	1'241,930	1'985,231	278,868	963,042	1'241,930	1'496,000	(254,070)
Suma (incluye NH3 aplic directa)	1'434,186	2'177,487	471,144		1'434,186	1'822,189	(388,003)

Reducción del consumo nacional 2003 vs 1996 = -21.3%; 2003- 2002 = -3.0%
*2003 ya sumada en "D"
** No suma producto para explosivos

Fuentes: Dirección Aduana SHCP; PEMEX; Sagarpa; IMF

VI. Exportaciones e Importaciones de productos agrícolas

EXPORTACIONES AGROALIMENTARIAS
COMPARATIVO DE ENE – DIC 2005 VS ENE – DIC 2004
VALOR
(Miles de dólares)

	ENE - DIC 2004	ENE–DIC 2005 p	VARIACION % 2005/04
AGROALIMENTARIA	10,387,912	11,856,046	14.1
AGROALIMENTARIA Y PESCA	5,683,896	6,127,072	7.8
AGROPECUARIA	5,118,828	5,556,066	8.5
AGRICULTURA	4,492,072	4,966,671	10.6
O7O2 Tomate fresco o refrigerado	909,387	983,018	8.1
-- Otras legumbres y hortalizas fre	583,261	601,146	3.1
070310 Cebolla	214,091	286,346	33.7
0707 Pepino y pepinillo	343,055	280,572	-18.2
070960 Pimiento	576,692	577,950	0.2
0802 Almendras , nueces y pistache	140,057	110,973	-20.8
080440 Aguacate	211,256	386,860	83.1
0805 Cítricos frescos o secos	176,280	178,692	1.4
0806 uvas frescas y secas pasas	111,913	159,630	42.6
0807 melón,sandia papaya	285,212	286,956	0.6
090111 café sin tostar	173,611	187,048	7.7
Resto de productos (diferencia)			
GANADERIA Y APICULTURA	626,766	589,396	-6.0
PESCA	565,068	571,006	1.1
ALIMENTOS Y BEBIDAS	4,704,016	5,728,974	21.8

p/ cifras preliminares
Fuentes: Banco de México; INEGI

VI. Exportaciones e Importaciones de productos agrícolas

IMPORTACIONES AGROALIMENTARIAS
COMPARATIVO DE ENE – DIC 2005 VS ENE – DIC 2004
VALOR

(Miles de dólares)

	ENE - DIC 2004	ENE–DIC 2005 p	VARIACION % 2005/04
AGROALIMENTARIA	13,602,692	14,292,520	5.8
AGROALIMENTARIA Y PESCA	6,355,140	6,175,681	-2.8
AGROPECUARIA	6,141,733	5,941,186	-3.3
AGRICULTURA	5,426,531	5,022,482	-7.4
0802 Almendras , nueces y pistache	83,030	103,280	24.4
0806 uvas frescas y secas pasas	106,867	115,767	8.3
0808 manzanas, peras, membrillos	204,525	227,478	11.2
1001 Trigo	617,766	612,760	-0.8
1005 Maíz	745,124	714,051	-4.2
1006 Arroz	184,953	164,643	-11.0
1007 Sorgo de grano	423,992	340,177	-19.8
1201 Habas de Soya	1,107,990	949,966	-14.3
1205 Semillas de nabo o colza	362,486	289,063	-20.3
5201 Algodón sin cardar ni peinar	566,139	458,196	-19.1
Resto de productos (diferencia)			
GANADERIA Y APICULTURA	715,202	918,704	28.5
PESCA	213,407	234,495	9.9
ALIMENTOS Y BEBIDAS	7,147,552	8,116,839	13.6

p/ cifras preliminares
Fuentes: Banco de México; INEGI

14. Bibliografía

BBI International Consulting Division. "Feasibility Study for Ethanol Production in Mexico from Sugar Cane and Maize". Abril 2005.

Banco de Crédito Rural del Noroeste, S.A. El cultivo de la remolacha azucarera utilizada como forraje. Mayo de 1984.

Banco de México.- www.bancodemexico.gob.mx

Comisión Nacional de las Zonas Aridas (CONAZA). "Escenarios climatológicos de la República Mexicana ante el cambio climático" 2004

Comité de la Agroindustria Azucarera. "Desarrollo Operativo Campo-fábrica. Zafra 2003-04".

Cuadri de la Torre, Gabriel. "Elementos para la introducción de Etanol en las gasolinas mexicanas". Octubre 2004

Ethanol Producer Magazine. Abril 2006

Imperial County. "Agricultural Crop & Livestock Report" 2004.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) www.inegi.gob.mx

Kosaric, N; Vardar-Sukan, F; Pieper, H.J. "The Biotechnology of Ethanol. 2001.

Matthews, R and Mortimer, D. "Carbon and energy balances for range of biofuels options.2003.

Purdue University. Department of Agronomy. "National Corn Handbook" 1988

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la producción agrícola. Año 2004. www.sagarpa.gob.mx

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. "El uso del suelo en la República Mexicana"

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y pesquera.(SIAP). www.siap.sagarpa.gob.mx

Unión Nacional de Cañeros. CNPR. "Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar".2005.

University of California. "Guidelines to production cost and practices Imperial County. Field Crops 2004-2005.

USDA Baseline. Proyecciones de largo plazo del sector agrícola 2006-2015. Marzo 2005

3 Bioethanol in Mexico

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

Task 4: Ethanol feedstocks

Ignacio Lazcano Martínez

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

Índice

1. Consideraciones Generales

2. La Caña de Azúcar
   - 2.1 Composición de la Caña de Azúcar
   - 2.2 Tendencias de interés de la Caña de Azúcar en Mexico
   - 2.3 Censo de variedades
   - 2.4 Regiones cañeras en la República Mexicana
   - 2.5 Precios de la Caña de Azúcar
   - 2.6 Costos de Producción
   - 2.7 El Costo primo en la producción de Bioetanol
   - 2.8 Financiamiento del cultivo
   - 2.9 Servicio de extensión agrícola, Transferencia de tecnología e Investigación de tecnología en la Cañicultura de México
   - 2.10 Oportunidades de reducción de costos en Caña para Bioetanol
   - 2.11 Las plantaciones de Caña, captura de dióxido de carbono y los Bonos de Carbono.

3. El Maíz
   - 3.1 Composición del grano de maíz
   - 3.2 Costos de producción en Sinaloa
   - 3.3 Análisis económico (sin renta de tierra)
   - 3.4 El Costo Primo en la producción de Bioetanol

4. El Trigo
   - 4.1 El Trigo grano
     - 4.1.1 Composición del grano de Trigo
     - 4.1.2 Costos de Producción. Valle de Mexicali, B.C.
     - 4.1.3 Análisis económico (sin renta de tierra)
     - 4.1.4 El Costo Primo en la producción de Bioetanol
   - 4.2 Paja de Trigo
     - 4.2.1 Composición de la Paja de Trigo
     - 4.2.2 Costos de producción Valle de Mexicali, B.C.
     - 4.2.3 Costo Primo en la producción de Bioetanol
     - 4.2.4 Costo Primo integrado de Trigo mas Paja

5. La Remolacha Azucarera
   5.1 Composición de la raíz de la Remolacha
   5.2 Costo de producción de la Remolacha en Mexicali, B.C.
   5.3 Costo Primo en la producción de Bioetanol

6. Sorgo Grano
   6.1 Composición del grano de Sorgo
   6.2 Costos de producción en San Fernando, Tamps.
   6.3 Análisis económico
   6.4 El Costo Primo en la producción de Bioetanol

7. La Yuca
   7.1 Composición química de la Yuca
   7.2 Costo de producción. Estado de Tabasco.
   7.3 Análisis económico
   7.4 El Costo Primo en la producción de Bioetanol

8. Sorgo Dulce
   8.1 Composición de la planta completa
   8.2 Sorgo de riego en Sinaloa
      8.2.1. Costo de Producción
      8.2.2 Análisis económico (sin renta de tierra)
      8.2.3 Costo Primo en la producción de Bioetanol
   8.3 Sorgo Dulce de temporal en Tamaulipas
      8.3.1 Costo de producción
      8.3.2 Análisis económico
      8.3.3 Costo Primo en la producción de Bioetanol
   8.4 Resumen de Costos Primos

9. Determinación de la superficie a cultivar y toneladas de caña necesarias, para los escenarios considerados en el presente estudio

10. Anexo

11. Bibliografía

1. Consideraciones generales

"Nuestra meta es hacer competitiva esta nueva forma de producir etanol, dentro de los próximos seis años. El etanol obtenido de la celulosa será comercializado dentro del lapso mencionado. Apoyaremos más investigación en otros métodos para producir etanol, no precisamente del maíz sino también de madera, tallos de gramíneas, esquilmos agrícolas y así tendremos la posibilidad, el potencial, para sustituir más del 30% de las actuales importaciones de los combustibles que ahora realizamos para la nación".

Así se expresó, el Presidente George Bush, al informar a su pueblo sobre el estado de la nación, el pasado 31 de enero.

La nación de la Unión Americana, atendió el reto y programó la producción de Bioetanol combustible según las siguientes metas:

Año	Producción Millones de litros
2006	15,140
2007	17,790
2008	20,439
2009	23,089
2010	25,738
2011	28,009
2012	28,388
2013	28,388, incluyendo 946 millones de litros, de celulosa

Fuente: Asociación de Combustibles Renovables de los EUA.

En México, se cultivan desde siempre, hace siglos, hace décadas, el maíz, la caña de azúcar, el trigo, la yuca, la remolacha y el sorgo. No se tiene experiencia con la remolacha tropical.

De las especies mencionadas, se cultivan: millones; cientos de miles; miles de hectáreas cada año con tecnología de "Temporal" y de riego, mayoritariamente la primera en una relación de superficie de cuatro a uno.

De las especies agrícolas citadas, desde hace décadas somos importadores de millones de toneladas de maíz, trigo y sorgo cada año. Por el contrario, de azúcar de caña, somos exportadores.

En el grupo de trabajo (SENER-BID-GTZ-Consultores) se decidió que debieran estudiarse en este esfuerzo, las posibilidades y conveniencias de los siguientes cultivos como materias primas para la fabricación de Bioetanol combustible:

Caña de azúcar
Maíz grano
Trigo grano y paja

Sorgo grano
Remolacha azucarera
Yuca
Sorgo dulce

En las regiones:

Caña de azúcar: Bajo Papaloapan, Huastecas, Balsas.
Maíz grano: Mar de Cortés
Trigo grano y paja: Mar de Cortés
Sorgo grano: Golfo Norte
Remolacha azucarera: Mar de Cortés
Remolacha tropical: Bajo Papaloapan y Peninsular
Yuca: Bajo Papaloapan y Peninsular.

Tecnologías en el uso del agua:

Caña de azúcar: Temporal y Riego
Maíz: Riego
Trigo: Riego
Sorgo: Temporal
Remolacha azucarera: Riego
Remolacha tropical: temporal
Yuca: Temporal

En la toma de decisiones sobre los cultivos a estudiar, se tomó en cuenta el hecho de que México es un gran importador de los granos aquí considerados:

De maíz se importaron 6 millones de toneladas en el año agrícola 2004-2005 y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América proyecta 13 millones de toneladas de importación para México en el año 2015-2016.

Para el caso del trigo, se importaron 3.7 millones de toneladas en el año base y se proyectan 5 millones para el 2015-2016.

Para el sorgo se importaron 2.9 millones de toneladas en el año base y se proyectan 3.3 millones para el 2015-2016.

Sin embargo, sí se presentan en nuestra agricultura condiciones específicas de naturaleza técnica, económica, social y ecológica que podrían hacer viable, razonable y conveniente utilizar estos cultivos como materias primas en la producción de bioetanol y usar tierras de riego para el propósito, que normalmente se deben dedicar a la producción de alimentos para la población.

Estas condiciones específicas se podrían derivar de razones como: “asociación de cultivos”; fuentes de energía gratuita; recuperación de suelos; aprovechamiento de agua sin valor; aprovechamiento de suelos marginales y logística.

2. La caña de azúcar (Saccharum officinarum L.)

La caña de azúcar fue establecida en México en el año de 1522, la primera plantación se desarrollo en el Estado de Veracruz. Incluida en la familia de las gramíneas con gran número de variedades que se denominan también "cañas nobles" y que ya no se cultivan comercialmente pero por supuesto se conservan en centros de hibridación para los trabajos de cruzamiento.

Alrededor de 1920, cruzas de S.Officinarum con S. Spontanium para obtener resistencia a la destructiva enfermedad del mosaico, consiguieron los famosos híbridos POJ que muy pronto se incorporaron a la producción mundial de azúcar y dieron origen al moderno mejoramiento de la caña.

2.1 Composición de la caña de azúcar

Componentes	**Tallos %**	**Cogollos y hojas %**
Materia seca	29.00	26.00
Azúcares	15.43	2.18
Lignocelulosa	12.21	19.80
Materia a Bioetanol	27.64	21.98
Cenizas y otros comp.	1.36	4.02
Agua	71.00	74.00
Total:	100.00	100.00

Fuente: GEPLACEA.

Un rendimiento de 75 toneladas de tallos de caña por hectárea, que fue el rendimiento medio nacional en la zafra de 2005, caña neta, conlleva aproximadamente 25 toneladas de cogollos y hojas, o sea, la cosecha de caña integral de 100 toneladas por hectárea, entendida como caña verde o cruda, no quemada.

Composición química del bagazo de caña

Análisis	Bagazo entero seco %
Celulosa	51.23
Hemicelulosa	24.11
Lignina	20.67
Cenizas y otros compuestos	3.99
Suma:	100.00

Fuente: Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar

2.2 Tendencias de interés sobre la caña de azúcar en México

• Incremento de la producción de tallos por ha 1996-2005	11.23%
• Incremento de la producción de azúcar por ha	16.29
• Incremento de sacarosa en caña	0.21
• Disminución de la fibra en caña	- 4.00
• Incremento de la superficie en cultivo	13.86
• Incremento de la superficie industrializada	13.00
• Incremento de la caña molida bruta	26.64
• Incremento de la producción de azúcar	32.00
• Incremento del rendimiento de fábrica	4.59

Fuente: Comité de la Agroindustria Azucarera

2.3 Censo de Variedades en México

El censo de variedades de caña de azúcar en México, se encuentra en el (anexo I.1). Justo es destacar que aproximadamente la mitad de la superficie cultivada con caña en la nación, esta plantada con variedades mexicanas, sobre todo: Mex 69-290 y Mex 68-P23. De las variedades extranjeras destaca la CP 72-2086 con el 17% de la superficie aproximadamente.

2.4 Regiones Cañeras de la República Mexicana

El Prof. Alfonso Contreras Arias, clasificó la superficie cultivada en XIV regiones cañeras (anexo I.2) dentro de las cuales operan ahora, 58 ingenios azucareros en 15 estados de la república.

Con excepción de los tres ingenios de Sinaloa, enmarcados entre latitudes 26º y 24º norte, todos los demás se encuentran al sur del trópico de Cáncer, entre las latitudes 23º y 14.5º N y altura sobre el nivel de mar que va desde solo siete metros como es el caso de los ingenios del Dorado, Huixtla, La Gloria, El Modelo, hasta los 1,350 como es el caso de Bellavista y Sta Clara.

La superficie cultivada en el país supera las 750 mil hectáreas de las cuales en la zafra pasada 2004-05, se industrializó la caña producida en 657 mil hectáreas. La diferencia de superficie significa aquella de las plantaciones del 2004 que se encuentran en crecimiento.

Los ciclos del cultivo de la caña se identifican como “Plantillas” para aquéllas de primer corte con edades de 14 a 18 meses, según variedades tempranas o tardías; “Socas” que son las cañas para el segundo corte y “Resocas” cañas del tercer corte hasta el final de la vida útil del cultivo, que en México en su mayor superficie alcanza siete cortes en ocho años, sin perjuicio de que es posible encontrar cañas de 20 y hasta 30 años de plantadas. Naturalmente los cañales disminuyen su producción en función del tiempo transcurrido y por ello, ocurren los “volteos” de “cañas viejas” y las nuevas plantaciones.

De la superficie cultivada, aproximadamente el 35% es de riego y el resto recibe el agua de la lluvia, es decir, es de temporal, obviamente en su totalidad dentro de las zonas tropicales.

2.5 Precios de la Caña de azúcar

Estos precios se entienden Libre a Bordo Batey del ingenio y sobre caña neta, es decir, ya habiéndose deducido el castigo por materia extraña y calidad de la caña si los hay. Es oportuno mencionar que el precio que recibe el agricultor por tonelada de caña es único, no diferenciado con otros cañeros y corresponde al 57% del valor del azúcar vendido por el ingenio, calidad estándar LAB ingenio.

Es importante mencionar que estos precios de la caña obedecen a los decretos y a la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar y que solamente se pueden aplicar para la caña que se transformará en azúcar. Los algoritmos para determinar los precios y calidades de esta materia prima, no se pueden ni se deben aplicar en la misma forma cuando se trata de cañas para la producción de Bioetanol.

En tal virtud, las relaciones de los proveedores de caña con los fabricantes de Bioetanol, deberán establecer sus propias reglas y métodos de cálculo.

A continuación se presenta la evolución de los precios al agricultor, por tonelada de caña para azúcar en el lapso 1996-2005.

Año	Precio a Pesos corrientes**	Precio a Pesos constantes 1996
1996	171.98	171.98
1997	216.68	181.03
1998	236.60	171.27
1999	243.10	150.35
2000	288.05	163.27
2001	298.30	159.68
2002	310.96	157.66
2003	324.70	158.20
2004	353.79	164.97
2005	397.26	177.32

**Fuente: Comité de la Agroindustria Azucarera.(COAAZUCAR)

En una percepción superficial y por ello obviamente desafortunada, muchas personas involucradas en análisis económicos y técnicos de la agricultura y de la agroindustria azucarera, se equivocan al afirmar que en México se paga mucho por la caña y que ésta ha subido mucho de precio en los últimos años solo al observar los precios corrientes de la tonelada de caña. Sin embargo, el cuadro anterior nos muestra que de 1996 a 2005, debidamente deflacionados, los precios son los mismos, prácticamente sin cambio.

Esta condición de precios, nos lleva sin grandes complicaciones a concluir que el mejoramiento del negocio de los cañicultores, si acaso ha sucedido, se debe al incremento de la productividad en sus tareas como cañicultores y también a la elevación de la eficiencia de

los ingenios en tanto la recuperación de azúcar. En efecto, la producción de caña en toneladas por hectárea se ha incrementado y el recobrado de los ingenios también.

La interrogante que se expresa "si acaso" es en razón de que asi como se eleva el rendimiento de caña por hectárea, también se elevan los costos de producción, cosecha y transporte, baste señalar el exagerado crecimiento de los precios de los fertilizantes y combustibles.

2.6 Costos de producción (cultivo, cosecha y acarreo por tonelada de caña; relación Beneficio-Costo y rendimiento por peso invertido, Zafra 2004-05)

La información de labores realizadas, insumos y servicios se obtuvo de los cañicultores y de los técnicos de los ingenios. Se analizó "por ciclos": plantillas, socas y resocas hasta cinco y seis. El rendimiento en toneladas de caña entregada por hectárea, se obtuvo del productor y del ingenio, así como el precio pagado por tonelada de caña.

a) Los resultados promedio son los siguientes:

Caña de temporal. Regiones Huastecas y Veracruz Centro:

Costo de producción (cultivo) por ton de caña	$103.47*
Costo de cosecha y acarreo	133.00
Costo total por tonelada de caña LAB Batey del ingenio	236.47
Precio al agricultor por tonelada de caña	392.00
Rendimiento de la caña ton/ha	61
Relación Beneficio-Costo	1.66
Rendimiento por peso invertido	$3.79**

b) Los resultados promedio son los siguientes en caña de riego, regiones Huatecas y Balsas:

Costo de producción (cultivo) por ton de caña	$ 92.39*
Costo de cosecha y acarreo	118.35
Costo total por tonelada de caña LAB Batey del ingenio	210.74
Precio al agricultor por tonelada de caña	425.25
Rendimiento de la caña ton/ha	111.50
Relación Beneficio-Costo	2.018
Rendimiento por peso invertido	$ 4.60**

* El costo de producción no considera renta de tierra. Parcela ejidal.
**La inversión no es igual al costo de cultivo ya que el importe del corte, alce, administración de cosecha y acarreo, en términos de flujo lo aporta el ingenio, en virtud de su sistema contable que dura "de un día para otro". Hoy se recibe la caña y mañana esta el azúcar en el almacén".

Fuente: Cañicultores y técnicos en las zonas productoras.

2.7 El costo primo de la caña de azúcar en la producción de Bioetanol

Se analizan dos tecnologías en la producción de Bioetanol. (no se considera la que usa melaza de caña en virtud de que en una visión de largo plazo, sería efímera y de relativo poco "cuantum") según el material y el proceso.

Los rendimientos esperados en litros de Bioetanol por ton de caña, en cada una de las dos tecnologías, serían los siguientes:

a) Jugo de caña (guarapo)
(14.5% de azúcares fermentables en tallos)
80 litros de Bioetanol por tonelada de caña *

Costo primo con caña de temporal por litro $236.47/80 litros = $ 2.96
Costo primo con caña de riego por litro de Bioetanol $210.74/80 = $ 2.63

*Se abonaría a los costos el valor del bagazo sobrante (no se hace azúcar la caña destinada a Bioetanol) para cogeneración u otros productos.

b) Cosechando caña integral, el esquilmo**, separado en centro de limpieza y acopio, nos deja caña completa (jugo más bagazo) con un rendimiento esperado de 138 litros de Bioetanol por tonelada de caña completa.

Costo primo por litro de Bioetanol con caña de temporal $236.47/138 litros = $1.71
Costo primo por litro de Bioetanol con caña de riego $210.74 / 138 litros = $1.53

** Esquilmo como fuente de energía para el proceso, en adición a la lignina separada de las celulosas del bagazo.

Se tomó el costo de la caña para los ejercicios arriba explicados en el cálculo del costo primo o costo de la materia prima para producir Bioetanol, en el deseable supuesto de que las organizaciones locales de productores de caña, tal como sucede en otro países, conformando cooperativas, fueran propietarios de la planta industrial, obteniendo así sus utilidades al través del valor agregado a la materia prima.

2.8 Financiamiento del cultivo, integración, intermediación, reparto beneficios proporcional entre cultivadores y procesadores, canales de mercadeo y distribución

Caña de azúcar.- Tradicionalmente el financiamiento venia siendo otorgado por los ingenios azucareros, con recursos de FINASA (Financiera Nacional Azucarera). Al desaparecer ésta, los ingenios tuvieron que recurrir a la banca comercial para conseguir recursos y aviar al campo cañero tal como lo señalaba el Decreto Cañero de 1991.

A partir de entonces, se han hecho múltiples esfuerzos por parte de los productores a través de sus organizaciones locales para recibir crédito directamente de la banca, pero participando en

la mayoría de los casos los ingenios, ya sean como dispersores del crédito y sobre todo como retenedores de los recursos de los cañeros para pagar el crédito recibido.

Con motivo de la expropiación de 27 ingenios en el año 2001, este proceso se aceleró al habilitar diversas figuras jurídicas, por lo general las Uniones Locales de Productores de Caña, como entidades dispersoras del crédito que se recibió principalmente de la banca comercial.

Una vez determinada la entidad dispersora, se constituyeron Fideicomisos de Garantía con el apoyo del Gobierno Federal a través de la Sagarpa- Firco, otorgando aportaciones con el propósito de capitalización las cuales fueron en un principio del 5% y se incrementó al 10% con la condición de que el productor aportara un porcentaje igual, esto con base al crédito recibido en cada ciclo, para así integrar el fondo requerido por las instituciones bancarias como fideicomiso de garantía del 30% en el caso de los bancos privados y 20% en el caso de la Financiera Rural.

Los recursos de la banca comercial, son fondeados por el FIRA, en el caso de la Financiera Rural actualmente esta operando con los cañeros como banca de primer piso, haciendo llegar los recursos al campo, a través de las organizaciones locales de productores de caña de las dos Uniones Nacionales que existen actualmente (CNC y CNPR). Cabe señalar que el crédito que se recibe es solo para labores de cultivo e insumos (costo de producción), en el caso de los recursos necesarios para la cosecha siguen siendo proporcionados por los ingenios ya que éstos no se consideran crédito, sino anticipo a cuenta de la materia prima.

En cuanto a la integración, los productores están integrados verticalmente pues cuentan con maquinaria agrícola, equipo de cosecha y transporte dentro de las localidades de cada ingenio y en la mayoría de los casos son propiedad de los mismos productores.

No existe intermediación ya que cada productor debe contar con un contrato firmado con el ingenio para entregar su producción de caña y es respetado en lo general para protección del ingenio y del cañero.

Los beneficios del campo son solo para el productor agrícola y en virtud de la fórmula existente para el pago de la caña, el productor recibe por Decreto el 57% del valor del producto final azúcar.

Los canales de mercadeo y distribución de la caña son directos del productor al ingenio, no hay intermediarios, mediante la organización de la cosecha por el Comité de producción cañera que es quien hace la programación de la zafra.

En cuanto al producto final azúcar, los canales de mercadeo y distribución son por lo general a través de 4 o 5 grandes empresas comercializadoras a nivel nacional asentadas en las plazas de la ciudad de México (Central de abastos), Guadalajara, Puebla, Monterrey a donde venden el azúcar los ingenios o sus corporativos, que son los que comercializan el azúcar.

2.9 Servicios de extensión agrícola, transferencia de tecnología e investigación agrícola en la cañicultura de México

En el apartado pertinente de la actividad 3., tratamos lo que ha ocurrido y la condición en que se encuentra en lo Nacional el servicio de extensión agrícola y transferencia de tecnología.

Al referirnos al cultivo de la caña de azúcar en lo particular, tenemos que reconocer que prácticamente nunca han recibo el apoyo institucional de las autoridades federales a través de la Secretaria de Agricultura. La atención técnica en condiciones de medianía la han recibido los cañicultores, de los agrónomos contratados por los ingenios azucareros y eventualmente de los vendedores de insumos.

Como se menciono con anterioridad, se inician los esfuerzos de cañeros para establecer sus oficinas técnicas y sus mezcladoras de fertilizantes. A fuer de ser sincero, el sistema de apoyo técnico en su conjunto ha sido descuidado.

En cuanto a la investigación y experimentación agrícolas, durante algunas décadas el Instituto para el Mejoramiento de la producción azucarera IMPA, realizo un trabajo meritorio en cuestión de variedades, fertilización, riego, tecnología de producción. Sin embargo, hace ya cerca de 20 años que le fue retirado el apoyo y pronto desapareció, de tal manera que ahora solo se hacen modestos esfuerzos en la Universidad de Veracruz y en el Colegio de Postgraduados de Chapingo. Podemos resumir que poca es la tecnología por transferir, menor aún la tecnología generada en México en los últimos años y por supuesto que no existe sistema alguno de extensión agrícola que opere en los campos cañeros mexicanos.

2.10 Oportunidades de reducción de costos en la caña para Bioetanol

En este sentido, es claro el imperativo de generar tecnologías específicas ya que en México y probablemente en otros países tropicales, se ha trabajado poco en esto. Por ejemplo, las épocas de corte se dan de acuerdo con los indicadores de madurez industrial de la caña, es decir, de su acumulación de sacarosa y disminución de azucares reductores y de humedad. Sin embargo, cuando la caña se va a destinar a producir Bioetanol procesando sus jugos, nos interesa la glucosa y la sacarosa, fermentan prácticamente igual y en tal virtud, la madurez de la caña para nuestros propósitos será determinada de manera diferente.

Tomando en cuenta lo anterior, nos interesa producir mucha biomasa con su glucosa y cosecharla en menos tiempo, en lo cual tendrá una influencia determinante, la fertilización balanceada, con acento en el nitrógeno. He aquí oportunidades para el abatimiento de costos de caña para Bioetanol.

Otra vertiente está representada por el aprovechamiento cabal de la biomasa producida, al través de la cosecha de caña integral y por supuesto sin quemar: verde o cruda, lo cual representa obtener aproximadamente el 30% más de biomasa que cuando se cosechan solo tallos y como la obtención de Bioetanol hacia el futuro próximo se apoyará en el procesamiento de celulosas y azúcares, resulta claro el abatimiento de los costos de la materia prima y del producto final. En este sentido, se debe trabajar en experimentación y en programas piloto con las variedades de alto contenido de fibra (energéticas), ante la evidencia

de transformar más celulosas y azúcares por tonelada de caña en Bioetanol y en cosechar mas biomasa por unidad de superficie.

La densidad de población de los cañales también deberá experimentarse con el propósito de generar mas biomasa por unidad de superficie, pero sin descuidar el binomio que se plantea de cosechar caña verde con máquina combinada. Cada vez se ve más necesario acordar con la industria la fabricación de maquinas ad-hoc de caña para bioetanol, para empezar no desechando las puntas o cogollos y cortando más de un surco a menor distancia y por ello, tener la potencia suficiente para cosechar alto tonelaje de biomasa.

2.11 Las plantaciones de caña de azúcar, captura de dióxido de carbono y los bonos de carbono

Las plantaciones nuevas de caña, cosechadas en verde o cruda y cuya biomasa se destine a la fabricación de Bioetanol, podrían calificar para entrar en el mercado de los llamados "Bonos de Carbono".

La cantidad de dióxido de carbono capturado por una plantación vgr en la zona de abastecimiento del Ingenio De Atencingo (Región Balsas) con una producción de 966 toneladas de tallos en su vida útil de siete cortes, equivalentes a 1,256 toneladas de caña integral por hectárea (la mejor de México), alcanzaría teóricamente 512 toneladas (CO2).

Se han realizado operaciones de certificados de reducción de emisiones en un precio de mercado de aproximadamente 10 dólares por tonelada de CO2 absorbido por la plantación y por ello, el ingreso de los productores de ese ingenio al vender su captura sería de 5,120 dólares en el período de 8 años (siete cortes) o sea $56,320 pesos por hectárea, igual a $7,040 pesos por hectárea por año. Por tonelada de caña se obtendrían $58.30.

Si se gestionara con éxito esta operación solo por un período de plantación de caña, con el contrato se podría obtener financiamiento bancario para apoyar la construcción en cooperativa de la fábrica de Bioetanol.

3. El Maíz (Zea mays L, familia de las gramíneas)

Originario de México, encontrado en el Valle de Tehuacan, con antigüedad de hace aproximadamente 7,000 años. Su progenitor silvestre lo fue el Teosinte (Zea mexicana).

Se produce en todas las regiones agrícolas del país; representa el principal alimento de los mexicanos (500 gr por persona, por día, promedio).

La producción nacional ronda los 20 millones de toneladas anuales, con un déficit de aproximadamente 7 millones de toneladas para abastecer la demanda industrial y pecuaria.

La demanda interna se puede dividir así en el año de 2005:

Consumo humano	18’620,000 ton
Autoconsumo menos:	(7’335,000) ton
Consumo pecuario	4’609,000 ton
Consumo industrial	3’676,000 ton
Consumo total	6’905,000 ton

Fuente: SIAP-SAGARPA

En el ámbito mundial, es el principal grano forrajero. Los Estados Unidos produjeron en el ciclo pasado un poco más de 300 millones de toneladas, de las cuales dedicaron a la producción de Bioetanol, aprox. 39 millones de toneladas. De maíz. Para 2012, aproximadamente 70 millones de toneladas de maíz serán necesarias para producir 28 mil millones de litros de Bioetanol.

Fuente: Renevable Fuels Assoc. (RFA) USA.

Según el SIAP-Sagarpa, la productividad del maíz a crecido en el lapso de 1990 a 2004, en un 38.0% es decir al 2.7% anual en promedio, al pasar de 2 ton por ha a 2.77 ton por ha.

Para nuestros análisis, hemos seleccionado la región del Mar de Cortés, específicamente Sinaloa, primer productor de maíz en México con alta tecnología de riego en los Valles de Culiacán y del Fuerte. El grueso de su producción debe enviarse al centro del país con alto costo de transporte. En el sitio (centro-norte de Sinaloa) se podría fabricar, de ser factible, el Bioetanol con esta materia prima.

Sinaloa produjo en 2004, 3 millones 900 mil ton de maíz grano blanco con un rendimiento de 9,154 kilos por hectárea y siniestros menores al 5% de la superficie sembrada.

De 1997 a 2004 el incremento de la productividad fue del 16.4% es decir 2.34% anual en promedio, al pasar de 7,864 kg/ha a los 9,154 kg/ha del 2004.

Los precios corrientes pasaron de $1,335 a $1,765 por ton en el lapso. A pesos constantes de 1997; $985 ton. La productividad creció 16.4%; el precio bajó 26.2%

3.1 Composición del grano de maíz

Análisis del grano de maíz para fabricación de Bioetanol

Componente	Valores medios % en peso
Agua	15.1
Almidón	62.6
Otros E.L.N.	6.7
Grasa	3.7
Proteína cruda	8.4
Fibra cruda	2.0
Cenizas	1.5

Con 626 kilos de almidón contenidos en una tonelada de maíz, se pueden producir 400 litros de Bioetanol, 333 kilos de granos de destilería con 10% de humedad y 285 kg de dióxido de carbono.

3.2 Costos de producción (Sinaloa) por hectárea y por tonelada

Ciclo 0-I 2005/2006

Preparación de tierras y otras labores mecanizadas	3,100.00
Cosecha o trilla	600.00
Flete	600.00
Fertilizante	3,340.00
Semilla	2,257.00
Insecticida	779.00
Cuota de agua	628.00
Riegos (mano de obra)	625.00
Aseguramiento	463.00
Otras cuotas	60.00
Intereses crédito de avío	375.00
Costo de producción del cultivo*	$ 12,827.00 por ha
Rendimiento 10 ton/ha	
Costo de producción / ton	1,283.00

Maíz con 14% de humedad, máximo.

Variedades híbridas: Puma, Lince, Tigre, D-K 20-20, D-K 20-25
Densidad de población 105,000 plantas/ha

Precio Venta: ton	
Precio base	$1,450.00
Subsidio del Gobierno Federal	400.00
Ingreso objetivo del agricultor	1,850.00

*Este costo no considera la renta de la tierra que se cotiza en $5,000 por año. Así el costo sería por ha $17,827.00 por ton: $1,783.0.

3.3 Análisis económico (sin renta de tierra)

Costo de producción y acarreo por ton	$1,283.00
Precio de venta al agricultor por ton	1,850.00
Margen por tonelada	567.00
Relación Beneficio-costo	1.44
Rendimiento por peso invertido	1.59

Si se carga renta de tierra, a un rendimiento de 10 ton por ha de grano, prácticamente no hay utilidad.

Un ejidatario que siembre 10 has de maíz con rendimiento de 10 ton/ha, recibe de ingreso anual $56,700.00 o sea el equivalente a 3 salarios mínimos. Este ingreso se da en las mejores condiciones de la agricultura nacional.

La única manera de que los ejidatarios y realmente pequeños propietarios salgan de la pobreza es cambiar en verdad el paradigma con el cual se desarrolle la agricultura del país, a saber: "los agricultores productores de las materias primas y aquéllos trabajadores permanentes que las hacen posibles, deben participar de su valor agregado, accediendo también al capital accionario de las instalaciones agroindustriales y las que fueren necesarias para integrar la cadena de distribución hasta el consumidor final, eliminando a los intermediarios no necesarios.

3.4 El Costo Primo en la producción de Bioetanol

Tecnología molienda seca de maíz:

Valor de los "granos de destilería" $1,500.00 ton

Rendimientos esperados /ton de maíz

Bioetanol	400 litros	
Granos de destilería	333 kg	alimento para ganado
Dióxido de carbono	285 kg	sin mercado

Costo del maíz 1,000 kilos*	$1,283.00
Valor de granos de destilería	(500.00)
Costo de materia prima a Bioetanol	783.00
Costo primo por litro de Bioetanol	$ 1.96

*Costo para el caso de que los productores de maíz, debidamente organizados instalaran la fábrica de Bioetanol y obtuvieran su ganancia como agroindustriales, al través del producto Bioetanol (criterio igual al aplicado para el bioetanol de caña de azúcar).

También, en la medida en que se desarrollen los autos flexibles en las regiones y en México, estas mismas cooperativas instalarían sus centros de servicio al público o "Bioetanoleras" y manejarían también el E-85 para beneficio de la atmósfera y del desarrollo de mercado para su negocio.

4. El Trigo (Triticum vulgare L., familia de las gramíneas)

4.1 El trigo grano (Originario del continente Europeo)

La producción nacional en el año agrícola del 2004 alcanzó 2 millones 321 mil toneladas en 535 mil hectáreas.

Las importaciones de 2005 fueron por 3 millones 562 mil; se exportaron 429 mil, con un consumo humano de 5 millones 400 mil toneladas o sea 140 gramos diarios por persona.

La productividad del trigo se ha mantenido o aumentado poco en la última década con los rendimientos más elevados en los Valles de Mexicali y del Yaqui de la región del Mar de Cortés con 6.0 y 5.7 toneladas por hectárea respectivamente.

Y es precisamente en estos Valles en donde se analiza la factibilidad de producir Bioetanol a base de trigo por razones de logística y bajos rendimientos en algunas zonas del Valle de Mexicali, B.C. y de logística en el Valle del Yaqui.

El primero de ellos produjo en el ciclo O-I 2004-05, 489 mil ton de trigo y el segundo 566 mil que como grano o harina viaja hacia el centro del país con altos fletes. El precio al agricultor fue de $2,150.00 ton en Mexicali, B.C. y $ 1,800.00 en el Valle del Yaqui, Sonora.

Las variedades principales fueron Aconchi en el Valle de Mexicali y Jupare en los Valles Yaqui y Mayo.

Es oportuno destacar que la producción mundial de trigo en el ciclo 2004-05 llegó a 621 millones de toneladas, con el primer lugar para la Unión Europea con 137 millones de toneladas, en seguida China con 90 millones y en tercer lugar Estados Unidos de América con 59 millones de toneladas.

4.1.1 Composición del grano de Trigo (Promedio)

Componente	Porcentaje(%)
Agua	13.2
Almidón	69.3
Proteína cruda*	11.7
Grasa cruda	2.0
Cenizas	1.8
Fibra	2.0

*Si el trigo contiene más del 13% de proteína no debe de usarse para producir Bioetanol por problemas en la fermentación.

Fuente: The Biotechnology of etanol. Wiley-VCH

4.1.2 Costos de producción

Valle de Mexicali, B.C. por hectárea y por tonelada de trigo

Ciclo O-I 2005-2006

Preparación de tierras y otras labores mecanizadas	2,675.00
Cosecha o trilla	550.00
Flete	480.00
Fertilizante	2,502.00
Semilla	560.00
Insecticida	1,272.00
Cuota de agua	788.00
Riegos (mano de obra)	390.00
Aseguramiento	350.00
Otras cuotas	260.00
Intereses crédito de avío	432.00

*Costo de producción (cultivo)	$ 10,259.00 por ha
Rendimiento 6 tons	
Costo de producción por ton	$1,710.00

Precio de Venta	
Precio base	$ 1,800 ton
Subsidio del Gobierno Federal	283 ton
Apoyo por siembra en surcos	67 ton
Ingreso al productor:	$ 2,150 ton

*Este costo no incluye renta de tierra que se cotiza en $3,500 por ha al año, así el costo sería:

Por hectárea $13,759.00 por tonelada $ 2,293.00

Fuente: Directa agricultores y técnicos locales.

4.1.3 Análisis económico (sin renta de tierra)

Valle de Mexicali.

Costo de producción y acarreo por tonelada:	$ 1,710.00	
Precio de venta, al agricultor por ton	2,150.00	
Margen por ton		440.00
Relación Beneficio-costo		1.26
Rendimiento por peso invertido		1.40

Un ejidatario que siembre sus 20 has de trigo (en las tierras buenas del Valle de Mexicali, no en las de segunda) con rendimiento de 6 tons por ha, recibe de ingreso $52,800 en el año, o sea el equivalente a 2.7 salarios mínimos.

Este ingreso en las mejores condiciones de la agricultura nacional.

La única manera de que los ejidatarios y realmente pequeños propietarios salgan de la pobreza es cambiar en verdad el paradigma con el cual se desarrolle la agricultura del país, a saber: "los agricultores productores de las materias primas y aquéllos trabajadores permanentes que las hacen posibles, deben participar de su valor agregado, accediendo también al capital accionario de las instalaciones agroindustriales y las que fueren necesarias para integrar la cadena de distribución hasta el consumidor final, eliminando a los intermediarios no necesarios.

4.1.4 El Costo Primo del trigo en la producción de Bioetanol

Tecnología molienda seca del trigo
Valor de los granos de destilería: $1,500.00 por ton

Rendimientos esperados por tonelada de trigo:

Bioetanol	360 litros
Granos de destilería	430 kg
Dióxido de carbono	256 kg sin mercado

*Costo del trigo 1,000 kilos	$1,710.00
Valor de los granos de destilería	645.00
Costo de materia prima a Bioetanol	1,065.00
Costo primo por litro de Bioetanol	$ 2.96

Fuente: Sheffield Hallam University

4.2 Paja de Trigo

En el Valle de Mexicali, con un rendimiento de grano de 6 ton/ha, se producen 7.3 ton de paja posible de cosecharse.

La siembra del trigo deberá hacerse en plano o surcos pequeños para que los implementos de corte y empaque jalados por un tractor operen correctamente. Así, bastarían 3 horas y media del conjunto para cosecha una hectárea.

A la paja como esquilmo, se le considera con valor cero y el costo para el proyecto sería el de cosecha y acarreo o flete a la fábrica.

4.2.1 Composición de la paja de trigo

Componente	porciento en peso (%)
Agua	15.0
Lignina	21.0
Celulosas	53.5
Cenizas	10.5

Fuente: The Biotechnology of etanol. Wiley-VCH

4.2.2 Costos de producción de la paja de trigo en Valle de Mexicali, B.C.

Se toma como costo total, el de cosecha, flete, como sigue:

Equipo Tractor de 80 H.P
Cortadora de jalón
Rastrillo
Empacadora

Tiempo para cosechar una ha con un tractor = 3.5 horas

Pacas de 25 kilos

Cosecha 292 pacas a $5.00 por paca	$1, 460.00
Flete de 292 pacas	720.00
Costo por hectárea (7.3 ton/ha)	2,180.00
Costo por tonelada	299.00

Fuente: Directa, agricultores y técnicos locales.

4.2.3 El Costo Primo de la paja de trigo en la producción de Bioetanol

Tecnología.- Pretratamiento e Hidrólisis ácida (sulfúrico)

Rendimientos esperados por tonelada de paja:

Bioetanol	345 litros
Acido acético (sin mercado)	31.5 kg
Cenizas (sin mercado)	105.2 kg
*Lignina y no fermentables	210.1 kg

*Lignina transformada a fuente de energía térmica o eléctrica a proceso.

Costo de la paja	$ 299.00 / ton
Valor de co y sub productos	
Costo de materia prima a Bioetanol	299.00 / ton
Costo primo por litro de Bioetanol	$ 0.87

Fuente: Sheffield Hallam University.

4.2.4 Costo Primo integrado de Trigo grano más paja

Costo primo de Bioetanol:	Grano	$2.96 por litro
	Paja	0.87 por litro
Costo combinado:		$1.93 por litro

Una hectárea de trigo integral (cosechado trigo mas paja) en el Valle de Mexicali produciría (2,160 lts + 2,518 lts) = 4,678 litros de Bioetanol, más los productos y subproductos ya mencionados.

5. La Remolacha azucarera (Beta vulgaris L., familia Chenopodiacea)

Planta bianual que durante el primer ciclo de su desarrollo produce una raíz con alto contenido de sacarosa (16 – 18% en peso) dependiendo de la variedad (ciclo de 6 a 7 meses a partir de la siembra) y en el segundo ciclo desarrolla un tallo floral, yemas, flores y semillas.

La materia seca de la remolacha, es casi tan rica como la de los cereales.

En Europa la remolacha junto con el trigo representan las materias primas principales para la producción de Bioetanol.

En México se cultivó en el Valle de Mexicali, B.C. hace 20 años, con buenos resultados y también en los Valles del Yaqui y del Fuerte en donde se evaluó la producción de remolacha en tierras marginales (salinidad y sodio) y estas aún regadas con las aguas de drenaje de los

distritos que ya iban al mar. En estas condiciones extremas el cultivo produjo 40 toneladas de raíz por ha y además, así se inicia el proceso de rescate de estos terrenos.

En este trabajo, se propone el cultivo de la remolacha azucarera en el Valle de Mexicali para desplazar el cultivo del trigo en tierras no aptas para este cultivo y que generan a los agricultores año con año, problemas económicos y sociales en virtud de sus bajos rendimientos (3.5 – 4 ton/ha).

Estas tierras empeoran su condición con el trigo. Con la remolacha se pueden rehabilitar.

Además, esto es fundamental, la fabricación de Bioetanol a partir de la remolacha aprovechará la energía térmica del vapor de escape de la Geotermoeléctrica de "Cerro Prieto", que hoy lamentablemente se desperdicia, ubicada en la zona agrícola de referencia, abatiendo significativamente el costo de producción del Bioetanol y superando el problema de la remolacha de no producir, como la caña con su bagazo, su propio combustible.

En el Valle del Fuerte (Sinaloa) se propone la siembra de remolacha para operar plantas "mixtas" productoras de Bioetanol con jugos de remolacha y de caña, en zafras de mayor duración y también rehabilitando suelos. La caña en esta región se produce con alta fibra y bastos excedentes de bagazo en la zafra, los cuales serían la "energía" para procesar la remolacha. Esta, genera subproductos ricos para la alimentación animal.

Obviamente, la extracción del jugo azucarado de la remolacha, se haría con Difusor.

5.1 Composición de la raíz de remolacha

En base seca, el 77% del peso de la raíz, esta representado por azúcares fermentables, casi exclusivamente sacarosa.

En base húmeda, se muestra el análisis:

Componente	Porciento en peso %
Agua	75.10
Carbohidratos	19.14
Fibra	1.13
Proteína cruda	1.35
Grasa	0.25
Cenizas	3.03

El análisis típico del jugo que sale del difusor (equivalente al jugo mezclado de la caña) nos muestra en base seca, un contenido del 87.75% de sacarosa más 1.03% de azúcares invertidos.

Fuente: Internacional Sugar JLN. Idaho USA

De una tonelada de raíz, como co-producto de la fabricación de Bioetanol, se producen:

472 kg de pulpa húmeda*
17 kg de pectina
2.9 kg de lignina

* A secarse con la energía calórica de los vapores de escape de la Geotérmica y venderse para los programas ganaderos de engorda de Mexicali.

5.2 Costo de producción de la remolacha (Valle de Mexicali) por hectárea y por tonelada*

Preparación de tierras	1,261.00
Cultivos, siembra y aplicación de insumos	1,420.00
Semilla	1,413.00
Fertilizante	2,117.00
Agroquímicos (Insec. Herb. Fun.)	5,029.00
Cuota de agua	950.00
Mano de obra (3 jornales)	600.00
Cosecha (85 ton/ha)	2,723.00
Transporte	2,569.00
Intereses crédito de avío	750.00
Seguro agrícola	700.00
Cuotas varias	240.00
Costo total por ha	$ 19,772.00

** Fuente: Universidad de California. Condado del Valle Imperial, California y Agricultores y técnicos del Valle de Mexicali.

Costo de producción por tonelada $ 232.61
Variedades: Phoenix; Beta 4430

*La tecnología de producción es la que se practica en el Valle Imperial de California (vecino inmediato). Los costos de agroquímicos; semilla, y cosecha son los del Valle Imperial; los de labores mecanizadas de preparación de tierras, cultivos, aplicación de insumos, transporte, agua, mano de obra, seguro e intereses, son según las cuotas y tarifas de la región. No se considera renta de tierra que se cotiza en $ 3,500 /ha /año.

5.3 El Costo Primo de la remolacha azucarera en la producción de Bioetanol

Tecnología: Extracción del azúcar de las rebanadas de raíz (cossettas) por lixiviación (difusión), con agua caliente. Utilización del vapor de escape y del agua caliente de la Geotérmica, como fuente de calor.

Rendimientos esperados por ton de remolacha:

Bioetanol	98 litros	
Pulpa seca (24% proteína)	12.5 kg	ganadería

*Fuente: The Biotechnology of ethanol. Wiley-VCH.

Costo de la remolacha por tonelada	$ 232.61 ton
Valor de la pulpa	(15.00)
Costo de materia prima a Bioetanol	217.61 ton
Costo primo por litro de Bioetanol	$ 2.22 / litro

6. Sorgo grano (Sorghum vulgare L, familia gramíneas)

De esta gramínea se sembraron en los últimos diez años, en la zona de San Fernando Tamps. Región del Pacífico Norte, aproximadamente 230 mil has por año; siembras de invierno (dic-enero) de temporal, aprovechando las humedades de las lluvias de esa estación.

La producción de grano alcanza un poco más de 2 toneladas por hectárea con el promedio de lluvias del ciclo y sin fertilizante, pero con semilla mejorada.

Son estas las zonas que podrían tener mayores ingresos directos, si el sorgo se transforma en Bioetanol, ya que ahora el precio de mercado es de $1,250.00 / ton y solo se eleva al pago actual de hasta $1,960.00 debido a los apoyos del Gobierno Federal (Procampo y otros).

Cabe destacar que en esta planicie costera, de San Fernando, la dotación ejidal es de 20 has por campesino, que normalmente se siembra completa de este cultivo.

6.1 Composición del grano de sorgo.

Componente	Porcentaje (%)
Agua	11.5
* Extracto libre de nitrógeno	71.5
Proteína	10.0
Grasa	2.5
Fibra	3.0
Cenizas	1.5
*Almidón y azúcares	63

(el almidón del endospermo es de estructura cerosa)

Con 630 kg de almidón contenido en una tonelada de sorgo, se pueden producir 400 litros de Bioetanol, 333 kg de granos de destilería con 10% de humedad y 285 kg de dióxido de carbono.

Fuente: The Biothecnology of Ethanol.Wiley-VCH

6.2 Costo de producción

San Fernando, Tamps

Ciclo O-I 2005 – 2006. Sin fertilizante.

Preparación de tierras siembras y cultivos (tractor)	$ 1,400.00
Semilla (híbrido)	320.00
Trilla	240.00
Flete	120.00
Costo total por hectárea	2,080.00

Rendimiento 2 ton por ha.

Costo por tonelada	$ 1,040.00

Precio de venta:	ton
Precio base	1,250.00
Subsidio Gobierno Federal	710.00
Precio al agricultor	1,960.00

Este costo no considera renta de tierra que en esta zona cotiza poco.

Fuente: Agricultores y técnicos de la zona.

6.3 Análisis económico del sorgo grano

Costo de producción y acarreo	$ 1,040.00 ton
Ingreso por venta y subsidios	1,960.00
Margen por tonelada	920.00
Relación Beneficio-costo	1.88
Rendimiento por peso invertido	2.28

Un agricultor que siembre su parcela de 20 has, obtiene ingreso neto de $36,800.00 al año o sea el equivalente a dos salarios mínimos.

6.4 El Costo Primo del sorgo de temporal en la producción de Bioetanol

Tecnología: molienda seca de sorgo
Valor de los granos de destilería $ 1,500.00 / ton

Rendimientos esperados por tonelada procesada:

Bioetanol	400 litros	
Granos de destilería	333 kg	ganadería
Dióxido de carbono	285 kg	sin mercado

* Costo del sorgo	$ 1,040.00 ton
Valor de los granos destilería	(500.00)

Costo de la materia prima a Bioetanol 540 ton
Costo primo por litro de Bioetanol 1.35

7. La Yuca

(Manihot sculenta, Crantz, familia euphorbiacea; Sinonimia: Cassava; Mandioca; Tapioca)

Originaria del trópico sur americano, posiblemente de Brasil; cultivada en importantes superficies de Indonesia, Nigeria, El Congo, Tanzania y desde luego Brasil.

En México, en el año agrícola del 2004, se cultivaron en la Región Peninsular principalmente, solo 1,336 hectáreas, en su gran mayoría de temporal en el estado de Tabasco, entidad seleccionada en el presente estudio.

El precio medio rural alcanzó $2,900 pesos por tonelada en la cosecha del primavera-verano.

Es una planta rústica que se propaga por estacas; es un arbusto que llega a crecer hasta 3 metros y sus raíces son tuberosas de 30 a 50 centímetros de largo, con alto contenido de almidón, cuya concentración alcanza del 25 al 33% en peso.

Sus rendimientos de raíces por hectárea, varían de 12 a 25 toneladas.

Sus rendimientos de la parte aérea por hectárea varían de 30 a 60 toneladas para un índice de cosecha de 0.4

De la plantación a la cosecha de las raíces el lapso es de 8 a 10 meses.

La Yuca es sensible a inundaciones prolongadas y en tal virtud, tomando el drenaje de los suelos como el factor limitante de la producción, se tienen aproximadamente 75,000 hectáreas con muy buen potencial para la producción de raices de Yuca, localizadas en su mayor parte en el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 151 de Cárdenas, Municipio de Huimanguillo, en el estado de Tabasco, siempre que se realicen prácticas de fetilización balanceada. Además, si

se realizan los drenajes adecuados, se cuenta con aproximadamente 200 mil hectáreas en los DDR 150 y 151 de mediano potencial para el cultivo.

Las variedades que sobresalen en producción de raíces son la Esmeralda, Criolla Papa y Sabanera.
Cabe mencionar que la Yuca se cultiva en especial en suelos francamente ácidos, en los cuales otros cultivos como el maíz y el frijol, no prosperan. Es una planta que tiene la "habilidad" de producir en donde otros cultivos no crecen.

Una característica muy positiva de la Yuca, es que las raíces pueden permanecer en el suelo sin descomponerse, hasta 24 meses. Así, el suelo representa el almacén de la materia prima para la producción de Bioetanol.

7.1 Composición química de las raíces. % en peso. Tres cultivares.

	Criolla Papa	Esmeralda	Sabanera
Proteína	1.95	1.68	1.37
Fibra	2.30	1.95	2.74
Grasa	0.36	0.32	0.50
Humedad	58.70	66.24	61.93
Cenizas	2.53	3.31	2.82
Azúcares	1.82	1.77	1.45
Almidón *	76.89	78.42	78.71

*Valor reportado en base seca

7.2 Costo de producción de la Yuca

Estado de Tabasco, año 2004. Cultivo de temporal con fertilizante.

Pesos por hectárea.	
Preparación de tierras	$ 900
Siembra o plantación	850
Fertilización	1,883
Cultivos	784
Control de plagas	496
Cosecha	1,150
Acarreo	600
Costo Total por hectárea	6,663
Rendimiento de raíces 12 toneladas por ha.	
Costo total por tonelada	555.25
Precio de venta por tonelada	680
Subsidios gubernamentales	0
Ingreso del agricultor por tonelada	680

Fuente: SAGARPA Delegación Estatal Tabasco

7.3 **Análisis económico** (sin renta de tierra)

Costo por tonelada	555.25
Precio de venta de las raíces por ton	680
Valor neto de los esquilmos	157
Ingreso total de la cosecha por ton	837
Margen del agricultor por ton	281.75
Relación Beneficio-costo	1.51
Rendimiento por peso invertido	2.05

7.4 Costo primo de la Yuca en la producción de Bioetanol

Tecnología HPCP

Productos esperados por ton de yuca	
Bioetanol (raíces)	140 litros
Follaje verde (hojas, pecíolos y tallos)	1,500 kilos
Costo de la Yuca	$ 555.25
Valor neto del follaje	157
Costo de la materia prima a Bioetanol	398.25
Costo primo de la Yuca para Bioetanol	$ 2.84

Es importante señalar que una moderna tecnología de producción, ha demostrado en nuestros institutos de investigación agrícola y en Institutos y campos comerciales de otros lugares del mundo, que el incrementar de manera significativa los rendimientos de raíces y de follajes, abatiendo el costo de producción y el costo primo, es perfectamente factible.

Los rendimientos potenciales se estiman de 20 a 30 toneladas por hectárea, con un contenido de almidón de hasta 35%, de modo que al considerar la eficiencia de fabricación agroindustrial en un 70%, se pueden producir hasta 4,630 litros de Bioetanol por hectárea.

8. Sorgo Dulce (Sorghum bicolor, L., Moench ssp. Sacharatum)

Es una planta anual-C4- Un pasto o zacate de origen tropical, con un alto potencial para la producción de biomasa, debido a su eficiencia fotosintética.

En el mundo se cultiva principalmente en áreas donde la lluvia no es suficiente para otros cultivos como el maíz y la temperatura, es alta para obtener de este grano producciones rentables.

Se adapta a un amplio rango de pH de los suelos (5.5 – 8.2).

En México, se cultivo en el centro y sur de Sinaloa y Coahuila con muy buenos rendimientos bajo riego. También en las regiones de la Laguna y del Bajío con la misma tecnología. De temporal se cultiva también en Sinaloa, en Chihuahua, Guerrero, Michoacán y Jalisco.

Lo producen principalmente para autoconsumo en las granjas que explotan ganado lechero.

Las condiciones para su cultivo en el temporal, se encuentran también en el centro-oriente de Tamaulipas en donde se produce sorgo grano en grandes superficies.

Tanto en el riego como en el temporal, se le pueden dar hasta cinco cortes en un año, con un rendimiento acumulado de hasta 100 toneladas por hectárea de material verde en el riego y de 60 toneladas por hectárea en el temporal.

La cosecha es sencilla, totalmente mecanizada y se llegan a obtener en otros países, hasta 30 toneladas de materia seca por hectárea y en tal virtud, también hasta 13,000 litros de Bioetanol por ha. (130 litros por tonelada de sorgo) aprovechando las 13 toneladas de azúcar de sus jugos y las 10 toneladas de su tallos y follajes.

Las cosechas se harían al inicio de la floración, impidiendo así la formación de grano. La primera entre los 60 y 80 días a partir de la siembra, la segunda y tercera, entre los 40 y 50 días después del primero y del segundo cortes. La experiencia indica que es más eficiente limitar la cosecha a tres cortes.

Las principales variedades Híbridas en las regiones de Sinaloa y Tamaulipas seleccionadas para el cultivo de riego y de temporal respectivamente son:

Para Culiacán, Sin: Gota de Miel (Susweet Conlee) y Cowvittles

Para Tamaulipas: SX16; Builder y Grazer

La producción nacional en el año de 2004 fue como sigue:

Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Precio por ton $
Sorgo verde	62,759	308
Sorgo acicalado	10,078	1,048
Sorgo seco	4,189	847

8.1 Composición de la planta completa

Por 1,000 kilos de tallos mas 399 kilos de hojas, pedúnculos y panoja, es decir 1,399 kilos de Biomasa:

Agua	1,083 kilos
Materia seca	315
Materia seca:	
Sólidos en solución	204 kilos
Insolubles	110
Sólidos en solución:	
Azúcares fermentables y almidones	134 kilos
Sólidos no fermentables	70
Insolubles:	
Fibra	106 kilos
Cenizas	4

Bioetanol de fermentables (azúcares y celulosas) litros por toneladas de tallos 132

Producción de Bioetanol por hectárea:

	Riego	Temporal
Rendimiento del sorgo (ton-ha)	100	60
Bioetanol (lts)	13,200	7,920

8.2 Sorgo de riego en Sinaloa

8.2.1 Costos de producción

(cultivo, cosecha y acarreo) en Sinaloa, con tecnología de riego, ciclo PV 2005, por hectárea y por tonelada de sorgo verde.

a) Primer corte: producción 40 ton/ha

Preparación de tierras y otras labores mecanizadas	$ 2,040
Riego (3 x 80) mano de obra	240
Cuota de riego	480
Fertilizante	1,800
Insecticida	150
Semilla	290
Cosecha	1,200
Acarreo (flete)	2,857
Costo de producción por ha	9,057
Precio del producto por tonelada	300

b) Segundo corte: producción 35 ton/ha

Labores mecanizadas	300
Fertilizante	570
Riego (2 X 80)	160
Cosecha	1,200
Acarreo (flete)	2,333
Costo de producción por ha	4,563
Precio del producto por tonelada	300

c) Tercer corte: producción 30 ton/ha

Labores mecanizadas	300
Fertilizante	570
Riego (2 X 80)	160
Cosecha	1,200
Acarreo (flete)	2,000
Costo de producción por ha	4,230
Precio del producto por tonelada	300

Costo total de producción por ha	17,850
Rendimiento en 3 cortes (tons de material verde)	105
Costo por tonelada	170
Costo de cultivo por tonelada	67.24
Costo de cosecha y acarreo por ton	102.76

8.2.2 Análisis económico (sin renta de tierra)

Costo de producción por ton	$ 170
Precio de venta por ton	300
Margen por ton	130
Relación beneficio-costo	1.76
Rendimiento por peso invertido	4.46

Fuente: tecnicos y productores de la region.

8.2.3 Costo primo del sorgo dulce, verde, en la producción de Bioetanol

Rendimiento de Bioetanol por ton de sorgo	94.34 litros
Costo primo	1.80

Con este cultivo como materia prima para la producción de Bioetanol, no se obtienen esquilmos utilizables, para la generación de energía térmica y su utilización en el proceso por lixiviación para extraer los jugos azucarados en un difusor. En tal virtud, se debe trabajar para el propósito, con paneles de energía solar y/o con vapores de escape y agua caliente de geotermia.

8.3 Sorgo dulce, verde de temporal en Tamaulipas

8.3.1 Costo de producción por hectárea y por tonelada.

a) Primer corte: producción 25 ton/ha

Preparación de tierras y otras labores mecanizadas	$ 1,880
Fertilizante y agroquímicos	2,000
Semilla	200
Cosecha	750
Acarreo (flete)	1,250
Costo de producción por ha	6,080
Precio del producto por tonelada	300

b) Segundo corte: producción 20 ton/ha

Labores mecanizadas	200
Fertilizante y agroquímicos	600
Cosecha	600
Acarreo (flete)	1,000
Costo de producción por ha	2,400
Precio del producto por tonelada	300

c) Tercer corte: producción 15 ton/ha

Labores mecanizadas	200
Fertilizante y agroquímicos	600
Cosecha	450
Acarreo (flete)	750
Costo de producción por ha	2,000
Precio del producto por tonelada	300

Costo total de producción por ha		10,480
Rendimiento en 3 cortes (tons de material verde)	60	
Costo por tonelada		174.67
Costo de cultivo por tonelada		94.67
Costo de cosecha y acarreo por ton		80.00

8.3.2 Análisis económico (sin renta de tierra)

Costo de producción por ton	$ 174.67	
Precio de venta por ton		300
Margen por ton		125.33
Relación beneficio-costo		1.72
Rendimiento por peso invertido		3.17

Fuente: tecnicos y productores de la región.

8.3.3 Costo primo del sorgo dulce, verde, para la producción de bioetanol

Litros de Bioetanol por ton de sorgo	94.34
Litros de Bioetanol por ha	5,660
Costo primo por litro de Bioetanol	1.85

8.4. Resumen de Costos Primos

Cultivo	Costo primo/lt Bioetanol
Caña guarapo-riego	$ 2.63
Caña entera-riego	1.53
Caña guarapo-temporal	2.96
Caña entera-temporal	1.71
Maíz- riego	1.96
Trigo grano-riego	2.96
Trigo paja	0.87
Trigo combinado: grano-paja	1.93
Remolacha-riego	2.22
Sorgo-temporal	1.35
Yuca temporal	2.84
Sorgo Dulce riego	1.80
Sorgo Dulce Temporal	1.85

9. Determinación de la superficie a cultivar y el tonelaje necesario, por año, de Caña de azúcar y maíz, para cubrir los escenarios 2 y 3 planteados en la tarea 2 del presente estudio.

Escenario 2 " Bioetanol necesario en México para sustituir a los éteres que se agregan actualmente a las gasolinas de las zonas metropolitanas".

Demanda esperada de Bioetanol anhidro para el año 2010, oxigenando gasolinas al 1.5% en peso y requerimientos de caña y maíz para satisfacerla. Volúmenes y superficies

A cubrir con caña de azúcar

Gasolinas	Bioetanol	Jugo a Bioetanol	Sup de caña	Jugo+bagazo	Sup de caña
MM litros en el año	MM litros en el año	M ton tallos caña	M hectáreas	M ton tallos caña	M hectáreas
19,728	782	9,772	130	5,665	76

A cubrir con maíz

Gasolinas	Bioetanol	Grano de maíz	Sup de maíz
MM litros en el año	MM litros en el año	M de ton	M hectáreas
19,728	782	1,955	196

Escenario 3 "La sustitución del 10% del volumen de las ventas nacionales de gasolinas (asumiendo una mezcla de 10% de etanol y 90 de gasolinas)"

A cubrir con caña de azúcar

Gasolinas	Bioetanol	Jugo a Bioetanol	Sup de caña	Jugo+bagazo	Sup de caña
MM litros en el año	MM litros en el año	M ton tallos caña	M hectáreas	M ton tallos caña	M hectáreas
44,060	4,406	55,075	734	31,928	426

A cubrir con maíz

Gasolinas	Bioetanol	Grano de maíz	Sup de maíz
MM litros en el año	MM litros en el año	M de ton	M hectáreas
44,060	4,406	11,015	1,102

Se despeja como base de cálculo, los siguientes parámetros:

Peso volumétrico del Bioetanol	0.794
Peso volumétrico de la gasolina	0.730
Peso volumétrico del MTBE	0.746
Rendimiento de caña tallos (ton/ha)	75
Rendimiento de caña entera por ton/ ha	98
Rendimiento de maíz por ton/ha	10
Rendimiento del jugo de caña a Bioetanol	80 litros por ton de caña
Rendimiento del jugo de caña + fibra a Bioetanol	138 lts por ton caña
Rendimiento del grano de maíz a Bioetanol	400 lts por ton

10. Anexo

I. Las Regiones Cañeras de México

Las regiones cañeras de la vertiente del Océano Pacífico están limitadas en cuanto a su latitud desde Tapachula, Chis., a Los Mochis, Sin y de Chetumal, Q. Roo hasta Llera, Tamps. En la vertiente del Golfo de México y el Caribe. Debido a la orografía tan accidentada de nuestro territorio, la altitud es un factor delimitante para su cultivo y en varias zonas de Jalisco y Michoacán situadas a más de 1,250 msnm, la caña durante el invierno (diciembre a febrero) está expuesta a bajas temperaturas sufriendo daños por heladas.

La diferencia de altura a que se encuentran las regiones cañeras producen tipos de climas distintos en temperatura, entre el cálido y el templado, pero las mayores variantes se deben principalmente a la precipitación pluvial; así observamos que a partir de las regiones de Tabasco y Papaloapan – que tiene las mayores precipitaciones pluviales – las lluvias van disminuyendo hacia todos los rumbos y marcadamente al noroeste determinando condiciones de humedad muy distintas, como en Sinaloa donde la caña solo puede cultivarse con agua de riego.

De acuerdo con el Prof Contreras, los límites que encierran la porción en que quedan comprendidas las **14 regiones dedicadas al cultivo comercial de la caña para la fabricación e azúcar son:**

I. Sinaloa
II. Nayarit
III. Jalisco
IV. Colima
V. Michoacán
VI. Balsas
VII. Tehuacán
VIII. A. Istmo
VIII. B. Papaloapan
IX. Chiapas
X. Yucatán
XI. Tabasco
XII. Veracruz Central
XIII. Costa Veracruz
XIV. Huastecas

a) En latitud, de los 14º 30’ al extremo sur, desde Tapachula, Chis hasta los 26º 00’ al norte en los Mochis, Sin.

b) En altitud, desde unos cuantos metros sobre el nivel del mar, donde se localizan los cañaverales de Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, y Sinaloa, hasta 1,400 metros en algunas zonas de Jalisco, Michoacán y Puebla.

c) En cuanto a longitud, las extremas se encuentran desde Chetumal, Q. Roo a los 89º 00’ hasta Los Mochis, Sin., a los 109º 00’ de Greenwich, de oriente a poniente.

Para la demarcación de 14 regiones se formaron grupos de ingenios (zonas), con características similares que se abastecen de un área de condiciones naturales idénticas; de acuerdo con las condiciones geográficas de las distintas partes del territorio nacional donde se encuentran las zonas, se agruparon en "*regiones*" trazando sus linderos según los límites fisiográficos del país; por lo tanto la extensión que abarca con el mapa de cada una de las regiones que se describen, no indica la extensión actual del cultivo, ni tampoco el área en que pudiera ser introducido en el futuro, sino la posición geográfica que en conjunto ocupan las zonas cañeras dentro de la geográfica mexicana.

Región I Sinaloa. Esta situada en la planicie costera del Océano Pacífico desde los 23º 10' al sur de Mazatlán hasta los 26º 00' de lat N en los Mochis; y la altitud de los terrenos es de 7 a 22 m. El clima es seco con régimen uniforme de temperatura; la precipitación pluvial es de 300 mm anuales, cantidad insuficiente para el cultivo de la caña por lo que es indispensable el agua para riego. **Cuenta con tres ingenios, que son**:

Zona I	**Los Mochis**	**Altitud**
	1, Los Mochis	15 m
Zona II	**Culiacán, Sin**	
	2. La Primavera	12 m
	3. El Dorado	7 m

Región II Nayarit.- Se localiza en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental y el paralelo 21º 30' de lat N, y el meridiano 105º de long Oeste, fijan más o menos el centro del Valle de Tepic, con terrenos ondulados, de buen drenaje natural, situados de 600 a 950 msnm. El clima es de ligero a moderadamente húmedo; la precipitación pluvial es de alrededor de 1300 mm anuales, con deficiencia de unos 200 mm en la primavera y 400 mm de excedente de julio a octubre. Semicálido con régimen uniforme de temperatura. El 30% de la superficie en cultivo cuenta con agua para riego y el 70% restante es temporal. **Tiene 2 ingenios que son**:

Zona III	Tepic, Nay	Altitud
	4. Puga	686 m
	5. El Molino	922 m

Región III Jalisco.- Ubicada en la porción sureste de la altiplanicie, limitada al poniente por la Sierra Madre Occidental y al sur por Eje Volcánico, entre los 19º 30' a los 21º 00' Lat. N. Los terrenos cañeros se encuentran desde 360 m en Casimiro Castillo hasta 1450 m de altitud en Tala y Ameca. **Esta región es la de mayor altitud de todas las del país**.

Clima semiseco, con deficiencia pluvial de unos 300 mm en invierno y pequeño excedente de 150 mm en otoño; semicálido a templado con régimen uniforme de temperatura. La media anual es de 22º C, llegando a 24º C en junio y bajando a 17º en enero. La máxima absoluta suele llegar a 40º C. En Ameca y Tala se han presentado temperaturas de 5º C bajo cero **y**

todos los años ocurren daños por heladas. El 80% de la superficie se cultiva bajo riego y el 20% de temporal. **Existen 6 ingenios,** que son:

Zona IV	**Ameca Jal**	**Altitud**
	6. San Francisco A	1,235 m
	7, Jose M Martínez	1,300 m
Zona V	**Acatlán, Jal.**	
	8. Bellavista	1,358 m
	9. Melchor Ocampo	1,200 m
Zona VI	**Tamazula, Jal**	
	10. Tamazula	1,235 m
Zona VII	**Casimiro Castillo, Jal**.	
	11. José M. Morelos	360 m

Región IV Colima.- Se localiza en las estribaciones del extremo occidental del Eje Volcánico, entre los 19º 00' y 19º 30' Lat. N con alturas de 780 a 1380 msnm. El clima es semiseco, con deficiencia pluvial en la mayor parte del año llegando a un total de 400 mm y con pequeño excedente de unos 100 mm en el otoño; cálido a templado-cálido, con régimen uniforme de temperatura. **Tiene 2 ingenios**, el 60% con terrenos de temporal y el 40% de riego.

Zona VIII	**Quesería, Col**	**Altitud**
	12. Quesería	1,300 m
Zona IX	**Tecatitlán, Jal**	**1,050 m**
	*La Purísima	
	(esta inactivo)	

Región V Michoacán.- Se encuentra en el Valle del Balsas, sobre el declive norte de la cuenca, entre los 18º 30' y 19º 30' Lat. N. Altura de los terrenos entre los 900 a 1400 msnm. Clima, ligeramente húmedo y semihúmedo, con deficiencia pluvial de 300 mm en invierno y excedentes de 200 a 600 mm en verano; semicálido, con régimen uniforme de temperatura. En la zona de Los Reyes, ocurren daños por bajas temperaturas (heladas). **Cuenta con 4 ingenios**, que son:

Zona X.	**Los Reyes, Mich**	**Altitud**
	13. Santa Clara	1,335 m
	14. San Sebastián	1,280 m
Zona XI.	**Uruapan, Mich**	
	15. Lázaro Cárdenas	900 m
Zona XII	**Tacámbaro, Mich.**	
	16. Pedernales	900 m

Región VI Balsas.- Esta pertenece también a la cuenca hidrográfica del Río Balsas y se localiza entre los 17º 30' y los 19º 00' en porciones de los estados de Puebla, Morelos y Guerrero. La altura de los terrenos varía desde 728 m en Iguala, Gro hasta 1,444 m en Raboso, Pue. Climas: ligeramente húmedo a semiseco, con deficiencia pluvial de 300 a 600 mm en invierno y excedentes de menos de 100 a 200 mm en verano: cálido a templado-cálido, con régimen uniforme de temperatura. En la zona de Izúcar y Tepeojuma, Pue., ocurren heladas eventuales. **A la fecha hay 3 ingenios** que son:

Zona XIII.	**Jojutla , Mor**	**Altitud**
	17. E. Zapata	998 m
Zona XIV.	**Cuautla, Mor**	
	18. Casasano	1,300 m
Zona XV.	**Izucar, Pue**	
	19. Atencingo	1,098 m

Región VII Tehuacan.- Se localiza en las faldas de la vertiente occidental de la Sierra Madre Oriental, con alturas de 900 a 1,200 msnm, entre los 18º 30' Lat N. y 97º 30' Long. W. Queda dentro de una estrecha franja de marcada aridez que se extiende desde la hacienda Buenavista, cerca de Tehuacan, Pue., hasta Cuicatlán, Oax. Los terrenos son de riego y los campos de caña se encuentran en las márgenes del Rió Salado, **cuenta con un ingenio**.

Zona XVI.	**Tehuacan, Pue.**	**Altitud**
	20. Calipam	1,100 m

Región VIII- A) Istmo.- Está situada en la parte que comprende el Istmo de Tehuantepec. En las cuatro quintas partes de su longitud, a partir del norte, esta franja tiene drenaje hacia el Golfo de México por los ríos San Juan, Tesechoacan y el Coatzacoalcos; la parte restante, escurre por el Océano Pacífico. Su posición geográfica es entre los 16º 00' a 16º 40 Lat. N.

La altura de los terrenos fluctúa entre 90 a 120 m. Clima semiseco, con prolongada deficiencia pluvial (generalmente desde fines del otoño hasta la primavera inclusive) ascendiendo en total a 700 mm y con excedente de lluvia de 400 mm en verano; cálido con régimen uniforme de temperatura. En esta zona azotan unos vientos conocidos con el nombre de "*El Tehuano*", persistentes y violentos, que soplan durante 4 meses del año, aumentando la evapotranspiración y la sequedad del ambiente. El cultivo es 100% de riego y **sólo hay un ingenio**.

Zona XVII.	**Juchitán, Oax**	**Altitud**
	21. Santo Domingo	90 m

Región VIII-B) Papaloapan. Se localiza en la Cuenca del Papaloapan cubriendo áreas de Veracruz y Oaxaca, entre lo 17º 45' y 19º 00' Lat. N. Los terrenos cañeros están de 3 a 150 msnm, muchos con problemas de mal drenaje interno. El clima es semihúmedo, con deficiencia pluvial de unos 400 mm en primavera y excedente de 400 mm aproximadamente en otoño; con régimen uniforme de temperatura. Todas las tierras para caña son de temporal. **Existen 5 ingenios.**

Zona XVIII.	**Cuatotolapan, Ver.**	**Altitud**
	22. Cuatotolapan	13 m
Zona XVX	**Papaloapan, Ver**	
	23. San Cristóbal	10 m
	24. San Gabriel	10 m
	25.Tres Valles	28 m
	26, A. López Mateos	35 m

Región IX Chiapas.- Cuenta con 2 zonas, una en la costa del Océano Pacífico, cerca de Huixtla entre los paralelos 14º 30' y 15º 00' Lat. N. con terrenos de temporal de mal drenaje interno, situados de 5 a 250 msnm. Clima húmedo con deficiencia pluvial de 400 mm en invierno y gran excedente de 1,400 mm durante el verano. La otra zona corresponde a la vertiente del Golfo de México, con el sistema pluvial del Río Grijalva, cerca de Comitán, cuyos terrenos son deniego y se localizan entre 500 a 600 msnm. El estado de Chiapas **tiene 2 ingenios,** que son:

Zona XX	**Huixtla, Chis.**	**Altitud**
	27. Huixtla	20 m
Zona XXI	**V. Carranza, Chis**.	
	28. Pujiltic	522 m

Región X Península de Yucatán.- Es una planicie de suave pendiente de sur a norte, donde los vientos dominantes soplan del este procedentes del Mar Caribe. La parte Oeste es azotada durante el invierno por los nortes del Golfo de México. Se localiza entre los 18º15' y 20º 15' Lat. N., cubriendo los estados de Campeche y Quintana Roo, pues en Yucatán sólo existe una zona piloncillera en Oxkutzcab y Tekax.

Las lluvias se inician en mayo y terminan en octubre, pero son insuficientes para abastecer el cultivo, por lo que la caña requiere 2 riegos de auxilio durante los meses de estiaje, en la primavera. La altura de los terrenos fluctúa entre 10 a 40 msnm. El clima es semiseco, sin excedente pluvial en ninguna época del año y con una deficiencia de 350 mm; cálido, con régimen uniforme de temperatura. **Tiene 2 ingenios** donde el 80% de sus tierras son de temporal y el 20% cuenta con pozos para riegos de auxilio**.**

Zona XXII	**Chetumal, Q. Roo**	**Altitud**
	29. San Rafael	15 m
Zona XXIII	**Champotón, Cam.**	
	30. La Joya	8 m

Región XI Tabasco.- Exceptuando la zona cañera de los ingenios San Pedro y San Francisco cerca de la costa en Lerdo Ver., las otras áreas se encuentran en la gran planicie tabasqueña en la parte que ocupan las vegas del Usumacinta y el Grijalva en las poblaciones de Tenosique, Tlacotalpa y Cárdenas. Con gran precipitación pluvial tanto en las sierras que la limitan por el sur como en la planicie misma, estos ríos cerca del litoral forman pantanos y canales durante parte del año.

La parte de la costa de Veracruz que hemos asociado con Tabasco es más o menos tan húmeda como la de La Chontalpa, debido a la influencia de la región de los Tuxtlas y del volcán de San Martín, Ver. Toda esta región cañera se encuentra entre los paralelos 17º 30' y 19º 00' Lat. N. Los terrenos fluctúan de 5 a 100 msnm, la mayoría en Tabasco con problemas de mal drenaje interno, y el manto freático muy cerca de la superficie del suelo. Clima húmedo a superhúmedo, con pequeña deficiencia pluvial de 150 mm en la primavera y gran excedente en verano-otoño, entre 500 a 2000 mm; cálido con régimen muy uniforme de temperatura. **Cuenta con 6 ingenios** que son:

Zona XXIV	**Tenosique, Tab.**	**Altitud**
	31. Azuremex	80 m
Zona XXV	**Tlacotalpa, Tab**.	
	32. Dos Patrias	60 m
Zona XXVI	**Cárdenas, Tab**.	
	33. Santa Rosalia	30 m
	34. Pdte B. Juárez	30 m
Zona XXVII	**Lerdo de Tejada, Ver**.	
	35. San Pedro	8 m
	36. San Francisco	8 m

Región XII Veracruz Central.- Esta región se caracteriza por ser el declive oriental más pronunciado de la Sierra Madre Oriental, con una topografía muy accidentada; sin embargo fuera de las serranías, pueden distinguirse 3 fases en el descenso del terreno hacia el litoral: la primera son pequeños Valles como los de Orizaba, Maltrata y Coatepec; la segunda son planicies o Valles más amplios como los de Córdoba y Huatusco, y la tercera que forma una extensa planicie costera, con suave pendiente al litoral, escasa vegetación, menor precipitación y suelos delgados de menor calidad.

Las zonas cañeras se encuentran en estos 3 escalones, por lo tanto dadas sus alturas y topografía no hay uniformidad climatológica. La delimitación geográfica queda entre los

paralelos 18º 30' y 19º 30' Lat, N y la altura de los terrenos de 50 a 1400msnm. Clima: muy húmedo y superhúmedo con deficiencia pluvial casi nula en primavera y excedente hasta de 1,200 mm, en verano-otoño, cálido y templado a cálido, con régimen uniforme de temperatura. **Tiene 13 ingenios**, que en su mayoría cultivan la caña de temporal y alrededor del 10 al 20%, con riego que son:

Zona XXVIII	**Tezonapa, Ver.**	**Altitud**
	37. Don Pablo Machado	104 m
	38. El Refugio	95 m
	39. Constancia	283 m
	40. Motzorongo	260 m
	41. La Providencia	390 m
	42. S. Jose de Abajo	400 m
Zona XXIX	**Córdoba, Ver**.	
	43. San Miguelito	778 m
	44. San Nicolás	648 m
	45. El Carmen	1,050 m
Zona XXX	**El Potrero, Ver**	
	46. El Potrero	606 m
	47. C.Progreso	476 m
Zona XXXI	**Xalapa, Ver**.	
	48. La Concepción	1,252 m
	49. Mahuixtlán	1,336 m

Región XIII Costa de Veracruz. Esta región de hecho es una prolongación de la anterior, su clima corresponde a la disminución gradual de humedad y aumento de la temperatura que se presenta en la planicie costera de Veracruz, a medida que se aproxima al litoral. La estación seca se manifiesta con toda claridad y abarca de noviembre a mayo.

Esta situada entre los 19º 15' y 20º 30' Lat. N. y los campos de caña se localizan entre 10 hasta 150 m de altitud. El clima es semiseco con deficiencia pluvial hasta de 500 mm en primavera y un excedente de 150 en verano; cálido con régimen uniforme de temperatura. No se registran heladas, sino que los "nortes" producen enfriamientos acompañados de lloviznas persistentes y vientos fuertes. **Tiene 2 ingenios con terrenos de riego y 1 de temporal**.

Zona XXXII	**Cardel, Ver**	**Altitud**
	50. El Modelo	7 m
	51 La Gloria	7 m
Zona XXXIII	**M de la Torre, ver**	
	52. Independencia	151 m

Región XIV Huastecas.- Esta región queda bien definida por la serie de barrancas, cañones y estrechos valles de los afluentes de los ríos Tamesí y Pánuco, junto con la planicie costera inmediata desde cerca del puerto de Tampico al norte, hasta la sierra de Otontepec, al sur. Esta ubicada en los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y norte de Veracruz, entre los paralelos 21º 30' y 23º 00' Lat. N. y los terrenos cañeros están de 10 a 150 msnm.

Climas: Semiseco a moderadamente húmedo, con deficiencia pluvial entre 100 a 200 mm en primavera y excedente en verano y otoño entre 100 a 780 mm; cálido con régimen uniforme de temperatura. En ciertos años bajan las temperaturas en diciembre y enero y causan graves daños por heladas. **Existen 8 ingenios** en la región, 3 cuentan con agua para riego y 5 son para cultivo de temporal.

Zona XXXIV	**Pánuco, Ver**	**Altitud**
	53. Zapoapita	10 m
	54. El Higo	78 m
Zona XXXV	**Cd. Valles, SLP**	
	55. Plan de Ayala	87 m
	56. Alianza Popular	92 m
	57. P. de Sn Luis	95 m
	58. S.M del Naranjo	100 m
Zona XXXVI	**Cd. Mante, Tamps**.	
	59. El Mante	80 m
	60. A. Saenz Garza	131 m

Para la separación y delimitación de las regiones cañeras, el Prof, Contreras Arias, consideró las características fisiográficas de las porciones del país en que se encuentran los accidentes geográficos sobresalientes que más influyen en ellas; por lo tanto, **el clima no es uniforme dentro de cada una de las regiones, dado lo accidentado de la topografía del territorio mexicano;** sin embargo, sí es posible discernir cuáles son las variantes climatológicas en una zona cañera determinada, conociendo su posición relativa dentro de la región y su altura sobre el nivel del mar. Esta información será muy valiosa en el proceso que seguimos para la selección de las variedades comerciales de caña.

Un balance general de las características climáticas de las regiones mencionadas, hace notar lo siguiente:

Dada la dispersión en que se encuentran y la accidentada topografía de nuestro territorio, esto origina una gran diversidad de climas en las zonas cañeras.

Desde el punto de vista de la latitud en que se encuentran, has lugares como Los Mochis, Sin. Y El Mante, Tamps., donde los enfriamientos del tipo de heladas causan daños a la caña durante el invierno. En cuanto a la altitud, en varias localidades de Jalisco, Michoacán y Puebla, situadas a más de 1,300 msnm, la caña también está expuesta a las heladas.

Las condiciones de humedad difieren mucho en el conjunto de todas las regiones en cuanto al aprovisionamiento de agua para riego de la caña; tal es el caso de los ingenios del estado de San Luis Potosí, donde la sequía causa severos estragos, en contraste con los de Tabasco, donde la precipitación e abundante.

Como fenómenos metereológicos intensos, los llamados "*nortes*" son frecuentes durante el período de la zafra en todas las zonas cañeras de la vertiente del Golfo de México, acompañados de nublados, lloviznas (chips-chipi) y niebla. También se considera perjudicial el efecto de los ciclones tropicales o huracanes, que son vientos muy violentos y precipitaciones diluvianas, suelen azotar las costas del país.

Con excepción de las zonas de Tabasco y algunas de Chiapas y Veracruz, cuyo balance pluviométrico muestra plena satisfacción de las necesidades del cultivo de la caña de temporal, en todas las zonas restantes se requieren por lo menos 2 riegos de auxilio durante el período de estiaje para poder lograr un rendimiento de 70 ton/caña/ha., promedio (plantilla, soca y resoca).

11. Bibliografía

BBI International Consulting Division.2005. “Feasibility Study for Ethanol Production in Mexico from Sugar Cane and Maize”.

Banco de Crédito Rural del Noroeste, S.A.1984. “El cultivo de la remolacha azucarera utilizada como forraje”.

Comité de la Agroindustria Azucarera. “Desarrollo Operativo Campo-fábrica. Zafra 2003-04”.

De Carvalho Macedo, Isaias.2005.”Sugar Cane”s Energy. UNICA

Ethanol Producer Magazine. Abril 2006

Flores Cáceres Silverio. 2001.“Las Variedades de Caña de Azúcar en Mexico”

Fellenberg Gunter. 2000.“The Chemistry of Pollution. Wiley.England.

Geplcea/PNUD/RLA/86/011.”La Diversificación de la Agroindustria de la Caña de Azúcar en América Latina y el Caribe.

Imperial County.2004. “Agricultural Crop & Livestock Report”.

Kosaric, N; Vardar-Sukan, F; Pieper, H.J. 2001. “The Biotechnology of Ethanol.

Matthews, R and Mortimer, D.2003. “Carbon and energy balances for range of biofuels options.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Anuario Estadístico de la producción agrícola. Año 2004. www.sagarpa.gob.mx

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y pesquera.(SIAP). www.siap.sagarpa.gob.mx

Unión Nacional de Cañeros. CNPR. 2005. “Estadísticas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar”.

University of California. “Guidelines to production cost and practices Imperial County. Field Crops 2004-2005.

Task 5: Ethanol and ETBE production and end-use in Mexico

Luiz Augusto Horta Nogueira

gtz

Índice

Resumen Ejecutivo

1. Introducción
2. Producción de éteres y etanol en México: cuadro actual
    - 2.1. Producción de MTBE y TAME
    - 2.2. Producción de etanol de caña de azúcar
3. Biomasas con potencial para producción de etanol
4. Procesos tecnológicos relevantes para producción de etanol
    - 4.1. Procesos utilizando caña de azúcar
        - 4.1.1. Producción de etanol de melazas agotadas (miel C)
        - 4.1.2. Producción de etanol de melazas intermediarias (miel B)
        - 4.1.3. Producción de etanol de jugo directo de caña
        - 4.1.4. Producción de etanol de jugo directo de caña y de residuos celulósicos
    - 4.2. Procesos utilizando maíz
    - 4.3. Procesos utilizando yuca
    - 4.4. Procesos utilizando sorgo y remolacha
    - 4.5. Visión general
5. Costos de producción de etanol en México
    - 5.1. Costos de la materia prima
        - 5.1.1. Costos para caña de azúcar y melazas
        - 5.1.2. Costos para el maíz grano
        - 5.1.3. Costos para otras materias primas
    - 5.2. Costos de procesamiento
        - 5.2.1. Módulos industriales e inversiones
        - 5.2.2. Costos de operación y mantenimiento
    - 5.3. Costos totales
6. Precios de indiferencia para el etanol en México
    - 6.1. Precios de paridad para productores de etanol
    - 6.2. Frente a gasolina y MTBE
7. Mercado para etanol combustible en México

8. Factibilidad económica de la producción y uso de etanol
    8.1. Dimensiones del parque productor de etanol en México
    8.2. Factibilidad económica de la producción y uso de etanol
9. Conclusiones

Referencias

Anexo 1. Procesamiento y transformación de la caña en azúcar y etanol

Anexo 2. Comentarios sobre costos de producción de etanol de caña de azúcar

Lista de Figuras

Figura 2.1. Importación de MTBE en México

Figura 2.2. Producción de etanol de caña de azúcar en México, 1988/2004

Figura 2.3. Evolución de indicadores de productividad en la industria azucarera de México

Figura 2.4. Evolución de la producción de miel final y alcohol en los ingenios mexicanos

Figura 2.5. Ubicación de los ingenios azucareros en México

Figura 3.1. Productividad agroindustrial de etanol para diferentes cultivos en los escenarios evaluados

Figura 4.1. Procesos para producción de etanol

Figura 4.2. Procesos de producción de alcohol de caña de azúcar

Figura 4.3. Flujos básicos en la producción de etanol a partir de melazas agotadas

Figura 4.4. Esquema de un ingenio para la producción de combinada de azúcar y etanol

Figura 4.5. Flujos básicos en la producción de etanol a partir de melazas intermediarias

Figura 4.6. Producción relativa de etanol y azúcar, para las condiciones medias de los ingenios de México

Figura 4.7. Procesos de fabricación de etanol de maíz

Figura 4.8. Flujos básicos en la producción de etanol a partir de maíz amarillo, procesamiento en seco

Figura 5.1. Evolución de los precios de la caña al productor

Figura 5.2. Costos del etanol para las materias primas y procesos considerados

Figura 5.3. Estructura de costos del etanol para las materias primas y procesos considerados

Figura 6.1. Competitividad de la producción de etanol

Figura 6.2. Precios de cierre en el primero día del mes para los Contratos de Azúcar de la Bolsa de Nueva York (NYBOT, 2006)

Figura 6.3. Evolución del precio del petróleo (WTI) y de la gasolina spot (sin impuestos) en Costa del Golfo (CG) y Los Angeles (LA)

Figura 6.4. Proyecciones de precios del petróleo de la EIA/DOE, Febrero de 2006

Figura 6.5. Precios de paridad para el etanol de caña frente a otros productos azucareros y combustibles pasibles de sustitución.

Figura 1.1. Estimaciones de evolución de la demanda de gasolina en México

Figura 7.2. Escenarios de demanda de etanol en México para dos escenarios de crecimiento del mercado de gasolinas

Figura 8.1. Inversiones industriales necesarias

Figura 8.2. Superficies de cultivo necesarias para producción de etanol

Figura 8.3. Resultado neto de la producción de etanol, para las materias primas y tecnologías estudiadas, en el escenario de referencia

Figura 8.4. Sensibilidad del costo del etanol producido de miel pobre de caña

Figura 8.5. Sensibilidad del costo del etanol producido de miel rico de caña

Figura 8.6. Sensibilidad del costo del etanol producido de jugo directo de caña

Figura 8.7. Sensibilidad del costo del etanol producido de jugo directo de caña más hidrólisis de los residuos celulósicos

Figura 8.8. Sensibilidad del costo del etanol producido de maíz vía seca

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Plantas de producción de MTBE en México

Tabla 2.2. Materias primas y éteres producidos en las plantas de PEMEX

Tabla 2.3. Capacidad instalada y producción de etanol en la zafra de 02/03 los ingenios de México

Tabla 2.4. Datos básicos la agroindustria cañera de México

Tabla 3.1. Fuentes posibles de material prima para producción de etanol

Tabla 3.2. Aspectos generales de las biomasas de interés para la producción de etanol

Tabla 3.3. Productividad y costos estimados para las biomasas de interés para la producción de etanol en México

Tabla 3.4. Productividad de etanol y costos de las biomasas de interés por unidad de etanol producido en los contextos recomendados

Tabla 4.1. Insumos y productos en la producción de etanol a partir de las melazas agotadas

Tabla 4.2. Insumos y productos en la producción de etanol a partir de melazas intermediarias, estimados para 18% de reducción en la producción de azúcar y 17.1 litros de etanol por tonelada de caña

Tabla 4.3. Insumos y productos en la producción de etanol directo a partir de caña

Tabla 4.4. Síntesis de los procesos de fabricación de etanol

Tabla 5.1. Costos de producción de caña en dos regiones cañeras de México

Tabla 5.2. Composición de costos de producción de caña en una zona de temporal

Tabla 5.3. Inversiones específicas para riego de caña de azúcar

Tabla 5.4. Costos estimados de producción para las biomasas no convencionales de interés para la producción de etanol en México

Tabla 5.5. Módulos productivos para fabricación de etanol de caña de azúcar

Tabla 5.6. Módulo productivo para fabricación de etanol de maíz,

Tabla 5.7. Módulos para fabricación de etanol de materias primas no convencionales

Tabla 5.8. Inversión en plantas productoras de etanol

Tabla 5.9. Composición de los costos de producción de etanol

Tabla 7.1. Consumo de gasolina en México en 2005

Tabla 7.2. Escenarios para introducción del etanol combustible en México, valores para 2006

Tabla 7.3. Estimativa de demanda de etanol combustible en México en 2010

Tabla 8.1. Número de unidades productivas necesarias (tecnologías convencionales)

Tabla 8.2. Número de unidades productivas necesarias (tecnologías innovadoras)

Tabla 8.3. Inversión industrial total (tecnologías convencionales)

Tabla 8.4. Inversión industrial total (tecnologías innovadoras)

Tabla 8.5. Superficie de cultivo requerida (tecnologías convencionales)

Tabla 8.6. Superficie de cultivo requerida (tecnologías innovadoras)

Resumen Ejecutivo

México presenta suficientes condiciones para considerar seriamente la progresiva introducción del etanol anhidro combustible en su matriz energética. En un contexto de creciente dependencia de combustibles refinados importados, hay disponibilidad de recursos naturales, la tecnología de producción es conocida y los estudios de factibilidad económica señalan la atractividad del etanol, especialmente el derivado de caña de azúcar.

1. Contexto actual

Para cumplir con las directivas ambientales, actualmente 44% de las gasolinas consumidas en México son oxigenadas, mediante mezclas con MTBE y TAME. En 2005 fueran consumidos 23 miles barriles por día de estos componentes. La capacidad de producción en las plantas de PEMEX corresponde a 68% de esa demanda y su producción efectiva alcanza 45% de las necesidades. La importación de estos éteres costó en 2005 aproximadamente US$ 240 millones.

Con potencial para producción de etanol, existen en México ya 58 ingenios azucareros, procesando la caña cosechada en 612 mil hectáreas y produciendo en torno de 5 millones de toneladas de azúcar por año. Una parte de estos ingenios posee destilerías, con una capacidad instalada para producir anualmente cerca de 167 mil m^3 de etanol de todos os tipos, incluyendo 33 mil m^3 de etanol anhidro. En los últimos años la producción de etanol es declinante, con un volumen de 39 mil m^3 producidos en la zafra 2004/2005, a partir de miel residual de la producción azucarera. Considerando la producción de miel en los ingenios mexicanos y una productividad de 8.8 litros de etanol por tonelada de caña procesada, podrían ser producidos cerca de 400 mil m^3 de etanol, valor próximo a demanda de ese biocombustible en el Escenario 1, presentado a continuación.

2. Escenarios de referencia

Considerando los estudios previos hechos por consultores mexicanos, fueran estimados los potenciales de demanda y oferta de etanol combustible. Para la demanda fueran evaluados tres escenarios de penetración del etanol en México, resumidos en la tabla siguiente y determinados a partir de los valores para 2005 asumiendo un incremento anual de 3%.

Tabla 1. Escenarios para introducción del etanol combustible en México, valores para 2010

Escenario	Demanda de etanol (mil m^3/año)	Ahorro de divisas por la reducción de la importación de gasolina y MTBE (mil US$)
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE, en la capacidad de producción	411.9	185,355
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5.7% en 44% de la gasolina (2% de oxigeno)	1,110.6	499,500
3. Mezcla de 10% de etanol en toda gasolina del país (3.5% de oxigeno)	4,406.3	1,982,835

Podría ser considerada, como alternativa al Escenario 1, la manutención de la producción local de éteres y sustitución de los éteres importados por etanol nacional, que significaría aumentar la demanda de etanol en ese escenario en cerca de 22%. El Escenario 3 estudiado en el presente informe representa la máxima demanda de etanol, considerando la mezcla de 10% de etanol en todas las gasolinas de México y es una variante del propuesto inicialmente, que restringía tal mezcla a las gasolinas no oxigenadas.

Para la producción de etanol fueran estudiados cinco cultivos: caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca y remolacha, considerándose que la caña y el maíz corresponden a tecnologías más conocidas y disponibles, mientras los demás representan todavía posibilidades en desarrollo. Para los cultivos de mayor interés, se consideraron escenarios productivos diferenciados: para la caña de azúcar de temporal, en las regiones de Huastecas y Veracruz Centro, se adoptó 61 t/ha, 14% inferior al promedio nacional, y para el maíz se consideró la región del Mar de Cortés, con tecnología de riego, produciendo 10 t/ha, bastante superior al promedio nacional. La figura siguiente presenta la productividad agroindustrial estimada para los cultivos estudiados. Para la caña se consideró el proceso a partir del jugo directo, para el maíz la molienda en seco.

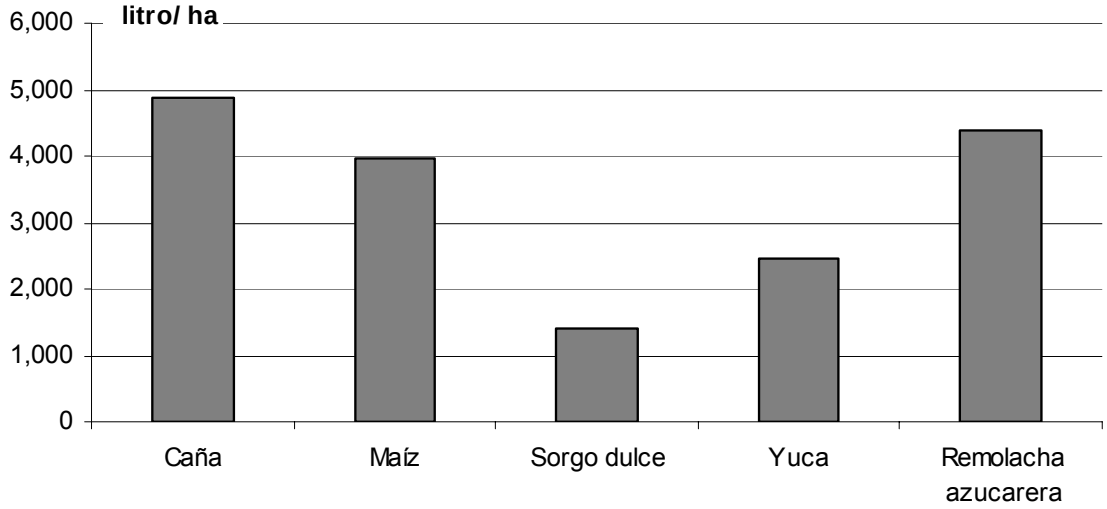


Figura 1. Productividad agroindustrial de etanol en los escenarios evaluados

Además de los aspectos de productividad, la selección de las materias primas a ser empleadas para producción de etanol debe tomar en cuenta el nivel de conocimiento agronómico, el balance energético (que expresa la relación entre la demanda y la producción energética para una determinada combinación materia prima/ proceso de conversión), la disponibilidad de subproductos de valor económico, los impactos ambientales (a nivel de producción agrícola y industrial) y la competencia con la producción alimentaría. **Bajo eses supuestos la caña surge naturalmente como la opción más evidente para promover en el corto plazo la producción de etanol en México**, alternativa que se refuerza al tener en cuenta la larga experiencia del país con ese cultivo, insertado hace siglos en la pauta cultural y agronómica mexicana. No obstante, eso no quiere decir que la caña es necesariamente la única opción para producir etanol en México, que a mediano plazo podrá desarrollar otras posibilidades.

3. Tecnología de producción del etanol

En la Tabla 2 se sintetiza los procesos estudiados para fabricación de etanol, para las diferentes materias primas con datos de productividad y requerimientos de energía. Mientras los procesos utilizando caña y maíz son conocidos y comercialmente bien desarrollados, los demás procesos no presentan la misma madurez. Particularmente el proceso de hidrólisis de los residuos celulósicos, de grande potencial, sigue en desarrollo, esperándose en un horizonte de por lo menos diez años su cabal perfeccionamiento.

Tabla 2. Síntesis de los procesos de fabricación de etanol

materia prima	proceso	productividad (litro etanol/ t)	consumo energético	otros productos
caña de azúcar	miel pobre (C)	8.8	autosuficiente	112 kg azúcar
	miel rica (B)	17.1	autosuficiente	92 kg azúcar
	jugo directo	80	autosuficiente	menos relevante
	jugo directo + hidrólisis de residuos lignocelulósicos	(80+18) 98	autosuficiente	menos relevante
maíz	vía seca	398	electr.: 0.21 kWh/litro comb.: 10.2 MJ/litro	321 kg granos secos de de destilería y solubles DDGS
sorgo	similar a caña	35	autosuficiente	menos relevante
yuca	similar al maíz	170	comb.: 26 a 31 MJ/litro	menos relevante
remolacha	similar a caña	86	electr.: 0.08 kWh/litro comb.: 6.7 MJ/litro	51 kg de residuos

4. Costos de producción del etanol

Los costos de producción fueran evaluados desagregándose los costos de las materias primas (que representan la parcela más importante), los costos de capital, los costos operacionales y los costos y ingresos relacionados con subproductos de valor económico que se producen (como los granos de destilería en el caso del maíz) o que se dejan de producir (azúcar en el caso de utilizar la miel rica para fabricar etanol).

Los costos de capital fueran estimados a partir de la previa selección de "módulos industriales" representativos para los ocho pares (materia prima + proceso) considerados, observándose la experiencia internacional, como se presenta en la Tabla 3. En los casos de utilización de miel no se consideraran los costos del ingenio azucarero asociado.

Tabla 3. Inversión en plantas productoras de etanol

Materia prima y tecnología	**Inversión**	**Capacidad**	**Inversión unitaria**
	mil US$	**m^3/día**	**US$/litro/día**
Cana, miel pobre	15,000	150	100
Caña, miel rica	15,000	150	100
Jugo directo	50,000	450	111
Jugo directo + hidrólisis	158,000	551	287
Maíz vía seca	61,000	500	122
Sorgo	25,000	150	167
Yuca	45,000	150	300
Remolacha	30,000	150	200

Las inversiones fueran anualizadas considerando una vida económica de 10 años y una tasa descuento de 12%. Se incluyeran costos de mano de obra y administración, costos de los insumos de producción y costos de mantenimiento y conservación, estimados a partir de casos reales. Agregando todos los costos, inclusive los costos asociados a demanda de energía para producción, en los casos adonde es necesario aporte externo (maíz y yuca, para la remolacha se asumió la disponibilidad de calor geotérmico disponible), se determinó la Tabla 4, con la formación de los costos totales del etanol para las materias primas y tecnologías consideradas, también presentados en la Figura 2.

Tabla 4. Composición de los costos de producción de etanol (US$/litro)

Caso	**Caña miel pobre**	**Caña miel rica**	**Caña jugo directo**	**Caña jugo + hidrólisis**	**Maíz vía seca**	**Sorgo**	**Yuca**	**Remolacha**
materia prima	0.26	0.21	0.27	0.22	0.30	0.59	0.30	0.44
inversiones	0.09	0.09	0.10	0.26	0.07	0.13	0.23	0.15
energía	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.15	0.00
otros	0.06	0.21	0.06	0.12	-0.02	0.10	0.11	0.10
total	0.40	0.52	0.43	0.60	0.44	0.82	0.79	0.69

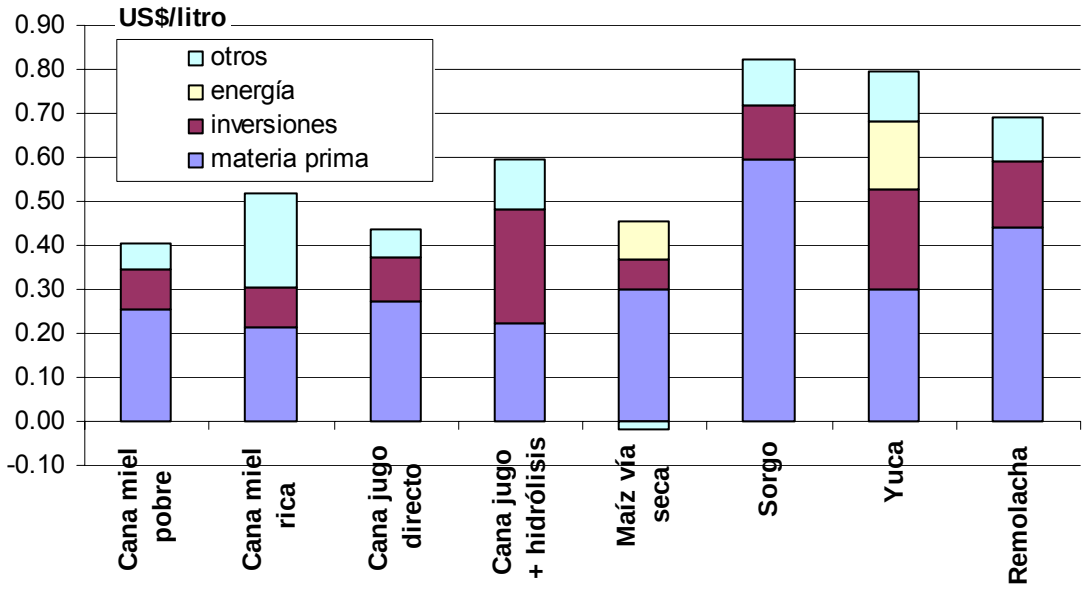


Figura 2. Costos del etanol para las materias primas y procesos considerados

Es relevante observar que **los costos de la materia prima fueran evaluados a partir de los factores de producción y resultaran, para los contextos estudiados y para las materias primas más relevantes, costos para la caña de 22 US$/t y para el maíz de 120 US$/t, valores utilizados en las estimaciones del costo total del etanol, respectivamente en 0.43 US$/litro y 0.44 US$/litro**. Sin embargo, los precios practicados en el mercado mexicano para estos productos son respectivamente 33 US$/t y 173 US$/t, resultando que el costo del etanol de jugo directo de caña pasaria a 0.59 US$/litro (37% más elevado) y para el etanol de maíz, a 0.58 US$/litro (32% más elevado). En ese sentido es esencial estudiar como los costos (y precios) de las materias primas pueden ser reducidos. De hecho, **para promover de modo sustentable el etanol combustible en México es imperativo bajar los costos de las materias primas**.

Considerando los resultados de costos y los demás criterios para selección de materias primas y procesos, se destaca favorablemente la caña de azúcar, por no competir en la demanda de áreas bajo riego, por su productividad y perspectivas de perfeccionamiento. Así, es recomendable que las otras alternativas sean consideradas de menor prioridad, por lo menos en el horizonte de los próximos años y hasta que sean reforzados su conocimiento y los indicadores de factibilidad.

5. Costos de oportunidad del etanol

Los precios de indiferencia o costos de oportunidad del etanol son definidos desde el punto de vista de los productores, frente a productos alternativos de la materia prima, o desde el punto de vista de los usuarios, en términos de desempeño de ese biocombustible en relación a la gasolina o al MTBE.

Para los productores de etanol a partir de la caña de azúcar en destilerías asociadas a ingenios, a partir de las relaciones de masa entre etanol y azúcar o melazas, considerando los precios en los mercados accesibles (libres o preferentes), fue posible determinar los costos de oportunidad. Por supuesto que estos costos cambian en función del contexto de precios, pero en la evaluación efectuada quedaron evidentes dos puntos: hay clara competitividad en hacer etanol de melazas y no hay ventaja económica en dejar de producir azúcar exportable a precios preferenciales (cuota americana, Contrato 14 de la NYBOT). Para el caso del azúcar en los mercados abiertos (como el Contrato 11 de la NYBOT) existe una factibilidad marginal y variable con los mercados. Sin embargo, la simultanea producción de azúcar y etanol aporta una deseable flexibilidad a la agroindustria cañera, que puede manejar sus flujos de sacarosa de forma maximizar sus ganancias. **El punto clave aquí es como compatibilizar una producción azucarera con costos elevados y rígidamente regulada, con la necesaria flexibilización productiva, que aportaría eficiencia y ampliaría el mercado para los ingenios.**

Considerando que la adición de etanol hasta el nivel de 10% prácticamente no altera el consumo de los vehículos, se determinaran los costos de oportunidad de los combustibles en función de sus precios de referencia. Los costos de oportunidad para ambos puntos de vista están presentados en la Figura 3. **En esencia, se observa que los costos de la producción de etanol a partir de la caña, a valores paritarios con las melazas y el azúcar en los mercados abiertos, es competitiva frentes a los valores de sustitución de los combustibles convencionales**.

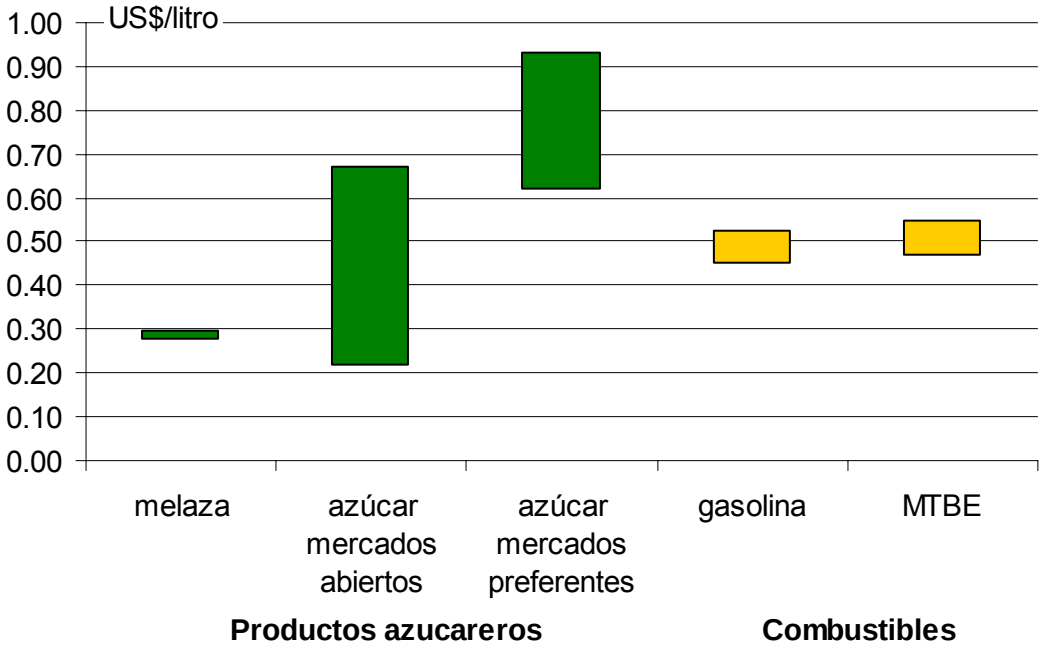


Figura 3. Precios de paridad para el etanol de caña frente a otros productos azucareros y combustibles pasibles de sustitución.

6. Factibilidad preliminar del etanol

Se evaluó económicamente la producción de etanol para las diferentes materias primas y tecnologías seleccionadas, determinándose el resultado neto de la actividad, considerada la venta del etanol en tres niveles de precios y los costos totales de producción, y adoptando para el escenario de referencia: tasa de descuento de 12%, vida económica útil de 10 años, un factor de depreciación de 10% anual y una tasa de impuestos de 28% sobre el resultado bruto. En la Figura 4 se sintetizan los resultados, confirmando la atractividad de los cultivos y tecnologías convencionales, debiendo reiterarse la importancia del costo de la materia prima sobre tal resultado, como cuantificado en el análisis de sensibilidad efectuado.

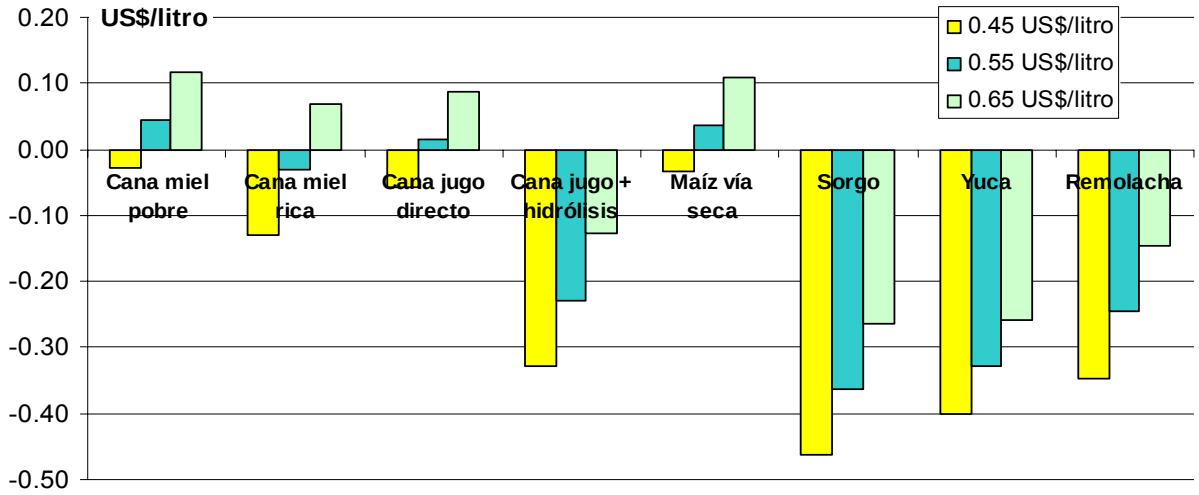


Figura 4. Resultado neto de la producción de etanol, para las materias primas y tecnologías estudiadas, en el escenario de referencia

7. Requerimientos de área cultivada e inversiones industriales

A partir de las expectativas de demanda de etanol y las disponibilidades determinadas para los "módulos industriales" se determinaran las necesidades de superficie y las inversiones en unidades de producción de etanol, presentadas en las Tablas 5 y 6 para los casos convencionales.

Tabla 5. Superficie de cultivo requerida (tecnologías convencionales)

Materia prima y tecnología	Caña miel pobre	Caña miel rica	Caña jugo directo	Maíz vía seca
Productividad agrícola (t/ha)	61	61	61	10
Productividad industrial (litro/t)	8.8	17.1	80	398
Escenario	**Superficie de cultivo (miles de ha)**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	767	395	84	103
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	1,698	874	187	229
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	7,260	3,736	799	979

Tabla 6. Inversión industrial total (tecnologías convencionales)

Materia prima y tecnología	Caña miel pobre	Caña miel rica	Caña jugo directo	Maíz vía seca
Escenario	**Inversión industrial (millones de US$)**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	240	240	300	183
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	510	510	600	427
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	2,160	2,160	2,400	1,586

Cumple recordar que para la caña se adoptaron escenarios de baja productividad, 61 t/ha, exactamente al revés de escenario elegido para el maíz, de ese modo, los valores de área cultivada para la caña podrán ser progresivamente reducidos en función de perfeccionamientos todavía pasibles se introducir en la etapa agrícola de producción del etanol. Es interesante comparar el área necesaria en caña para la producción de etanol utilizando las melazas como materia prima, con la superficie actualmente plantada en México, cerca de 612 mil hectáreas, que permite concluir que, en caso del Escenario 1 (sustitución de la producción nacional de éteres), la oferta actual de caña ya alcanzaría el 80% de la demanda (utilizando miel pobre) o superaría en 55% la demanda (miel rica).

Grande parte de las inversiones necesarias podrán efectuarse en moneda nacional, correspondiendo a obras civiles y equipos producidos en el país. En verdad, México es exportador de modernas destilerías de etanol, empleadas en países de la región para producir y exportar etanol.

8. Conclusiones y recomendaciones

En los límites del estudio efectuado, quedó clara la oportunidad de proseguir en la implementación de la producción y uso de etanol como combustible en México, principalmente mediante el empleo de materias primas y tecnologías convencionales.

Con relación a materia prima más adecuada, entre las diversas posibilidades se destacan las melazas, el jugo directo de caña y el maíz, por su productividad, costos y conocimiento agronómico en México. Por los resultados económicos no es posible afirmarse categóricamente que la caña representa una opción nítidamente superior al maíz, no obstante la menor disponibilidad de tierras bajo riego, la importancia en usos alimentarios y la dependencia de maíz importado sean aspectos estratégicos a reducir el interés en ese cultivo para fines bioenergéticos. Obsérvese aún que estos resultados consideraran parámetros conservadores para la caña y optimistas para el maíz. Además, otros cultivos también pueden ser considerados, pero siempre en nichos específicos pues todavía carecen de mejor fundamentación y los resultados obtenidos no son exactamente estimulantes. En síntesis, sobre esto punto, **es importante enfocar las materias primas de manera no restrictiva pero teniendo en cuenta experiencias previas y datos económicos**.

Por sus disponibilidades y necesidades, es cierto que temprano o tarde los mexicanos estarán produciendo, utilizando y quizás exportando y importando biocombustibles. Frente a los resultados presentados, existen desde ya perspectivas interesantes para el desarrollo del etanol en México, cabiendo elegir los mecanismos de fomento y perfeccionar el marco normativo y legal para los biocombustibles, asimismo buscando asegurar que su introducción ocurra de forma progresiva y sostenible, compartiendo beneficios entre los agentes involucrados y la sociedad. Necesariamente complexo, por sus amplias correlaciones e implicaciones, ahora se empieza a decidir el sendero de ese proceso.

1. Introducción

Como parte del Proyecto "Viabilidad del etanol derivado de biomasa como combustible para transporte", desarrollado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) junto a Secretaria de Energía (SENER) del gobierno mexicano, el objetivo básico del presente informe es, a partir de estudios previos sobre el escenario económico, energético y agrícola de México, explorar las posibilidades de producir etanol a partir de recursos de biomasa, como caña de azúcar o maíz, y utilizar ese biocombustible en mezclas con gasolina en el mercado mexicano de combustibles. No fueran consideradas las perspectivas de exportación, de evidente interés pero que plantean escenarios de demanda no estudiados en el presente informe. En ese sentido y de acuerdo con tres escenarios de mercado para el etanol, serán determinados los requerimientos de recursos para producir ese biocombustible y los indicadores de factibilidad económica para diferentes contextos de materias primas, procesos y escalas de producción. Estos resultados servirán para evaluaciones preliminares de factibilidad, asimismo serán utilizados en los posteriores estudios de sostenabilidad, con un espectro más amplio.

En la primera mitad de los años ochenta, diversas instituciones regionales han explorado las perspectivas del etanol como combustible en la América Latina, adonde las tecnologías requeridas son bastante conocidas y existe hace siglos una importante industria azucarera. En ese sentido, la percepción del amplio abanico de ventajas e impactos positivos sobre la economía y la sociedad estimuló estudios nacionales y la caracterización de los obstáculos a superar, como se presentó en un documento de 1984 preparado por un grupo de consultores bajo el patrocinio de la Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y Organización Latinoamericana de Energía (GEPLACEA, IICA, OLADE, 1985). No obstante, desde ese entonces, con la excepción de pocos estudios puntuales y en un marco restrictivo de la agroindustria cañera, la temática bioenergética no se ha adelantado en México, comparativamente a otros países similares. De hecho, la reducción de los precios del petróleo a partir de 1985 disminuyó el interés en los biocombustibles, solamente retomado a fines de los años noventa a raíz de motivaciones ambientales y en un contexto de sostenida alza en los precios de los combustibles convencionales. En pocas palabras, ese es el cuadro de antecedentes en el cual se pretende conocer las potencialidades del etanol en México.

Como factores complementarios de inducción del interés en evaluar las perspectivas del etanol en la realidad mexicana, cabe mencionar el continuado éxito de la experiencia brasileña, cuya producción de anual etanol de caña de azúcar supera 16 mil millones de litros y crece a tazas elevadas en bases sostenibles desde del punto de vista social, económico y ambiental, así como la iniciativa de diversos países latinoamericanos en implementar programas nacionales de etanol carburante, como por ejemplo Colombia, Costa Rica y Guatemala (CEPAL, 2004). También cabe observar desde del punto de vista interno, la necesidad de dinamizar la agroindustria cañera mexicana y enfrentar el preocupante cuadro de dependencia de combustibles importados, bajo precios elevados y frente a una reducción de las reservas nacionales de hidrocarburos.

Un síntoma de la creciente percepción de los dirigentes mexicanos sobre las oportunidades del etanol es la reciente evolución del marco legal, tendiente a proporcionar la base adecuada para la adopción de etanol en la matriz energética. Así, pueden ser mencionadas la Ley de Desarrollo Sustentable de Caña de Azúcar, que en dos artículos menciona explícitamente la

necesidad de promover el etanol como carburante y oxigenante de gasolina", la revisión en enero de 2006 de la Normativa 086/94, Especificaciones de los combustibles fósiles para protección ambiental, estableciendo exigencias de oxigenación para las gasolinas mexicanas y abriendo la posibilidad del empleo de etanol como aditivo, bien como la aprobación por la Cámara de Diputados de la Ley para el Desarrollo y Promoción de los Bioenergéticos, en abril de 2006. En ese mismo sentido la Secretaria de Energía del gobierno mexicano, en el marco de un estudio sobre energías renovables para México, señaló que las materias primas potencialmente disponibles para producción de biocombustibles líquidos (etanol y biodiesel) alcanzaban un total de 200 PJ por año (SENER, 2006), correspondientes a cerca de 33 millones de barriles de petróleo, cerca de 6.5% de la oferta interna de hidrocarburos en el país..

Naturalmente que la viabilidad de la producción y utilización del etanol en México no puede ser determinada de forma simplista, mediante una transposición de modelos aplicados en otros países. La diversidad de implicaciones e interrelaciones asociadas al etanol combustible, involucrando una gama de actividades agrícolas, agroindustriales, del mercado de combustibles y sus impactos ambientales y sociales impone un acercamiento individualizado, que tenga en cuenta las potencialidades y restricciones locales, en escenarios coherentes y representativos. En este particular, México posee una amplia base productora agrícola, una fuerte industria energética convencional y una institucionalidad consolidada, elementos clave a concertar en una propuesta efectiva para producir combustibles renovables, al mismo tiempo en que aspectos singulares de las relaciones productivas en el sector agrícola, del mercadeo de combustibles y referentes a articulación de los intereses frente a cambios en la estructura energética imponen un abordaje cauteloso y exploratorio de las diversas posibilidades buscando la inserción consistente del etanol combustible en la realidad mexicana. Así, el desafío que se pretende discernir en las próximas páginas de este informe es caracterizar económicamente potenciales productivos y demandas a atender, sin pretender obtener recetas óptimas o recomendaciones estrictas.

El próximo tópico discurre sobre el cuadro actual de la producción de MTBE y etanol en México, siguiéndose una discusión sobre las biomasas con potencial para producción de etanol y los procesos tecnológicos en pauta, adonde las múltiplas alternativas son caracterizadas y priorizadas en términos de sus posibilidades reales. Luego se presentan estudios sobre los costos de producción del etanol para México, desagregados en los costos de la materia prima y costos de procesamiento, según diferentes rutas tecnológicas y permitiendo definir las condiciones de atractividad económica frente a los costos de oportunidad o de indiferencia para el etanol mexicano, evaluados para el mercado de combustibles y para otras alternativas de utilización de las materias primas consideradas. En seguida, para tres escenarios de penetración del biocombustible, se abordan las perspectivas de mercado para el etanol en México y los impactos de orden económico decurrentes de su producción en el país, permitiendo finalmente estimar los indicadores resultantes de las evaluaciones de costos y efectuar estudios de sensibilidad para el precio del etanol frente a los condicionantes utilizados en el escenario de referencia, sin considerar la exportación. Con base en estos datos e informaciones, se presentan las conclusiones del estudio y se obtienen las recomendaciones pertinentes para la política energética mexicana, que naturalmente deberán ser consideradas a luz de las evaluaciones de sostenabilidad, objeto de otro estudio.

2. Producción de éteres y etanol en México: cuadro actual

A continuación se presenta una visión de actuales condiciones para la fabricación de éteres y etanol en México, productos que pueden ser utilizados como componentes oxigenantes en la gasolina buscando mejorar su calidad y reducir las emisiones contaminantes.

2.1. Producción de MTBE y TAME

De acuerdo con la actual especificación mexicana, todas las gasolinas regulares, (denominadas PEMEX Magma, con índice de octano mínimo 87) consumidas en las Zonas Metropolitanas de Valle de México, Guadalajara y Monterrey y toda la gasolina súper (denominadas PEMEX Premium, con índice de octano mínimo 92) consumida en todo el resto del país, deben contener aditivo oxigenante que permitan hasta 2.7% de oxigeno en peso (SEMARNAT, 2006). Para el cumplimento de éstas exigencias normativas de oxigenación se emplearon como aditivos el MTBE (Metil Terbutil Éter) y el TAME (Teramil Metil Éter), siendo requeridos en 2005 volúmenes de 23 MBD (miles barriles por día), parcialmente producidos en México. La producción de esos oxigenantes en México estaría alrededor de 10.6 MBD, 45% de las necesidades del país, complementándose las necesidades con MTBE importado.

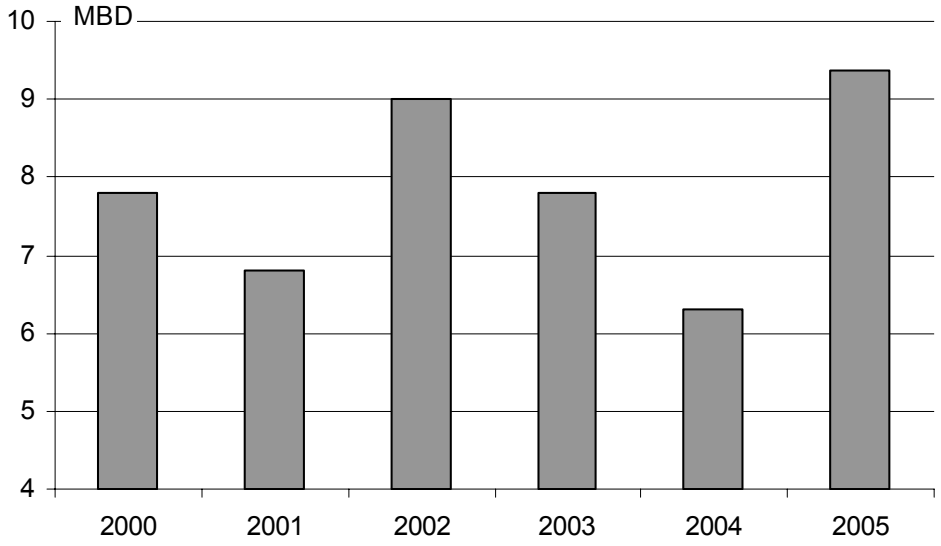


Figura 2.1. Importación de MTBE en México

En la Figura 2.1 se presenta la evolución de las importaciones de MTBE para oxigenar las gasolinas mexicanas, siendo el valor para 2005 estimado con base en el volumen importado entre enero y octubre (PEMEX, 2005). Asumiendo un valor de US$ 70 el barril de MTBE (mediados de 2005), en el último año ese componente significó una erogación de aproximadamente US$ 240 millones. Eventuales diferencias entre los volúmenes de éter demandado se deben esencialmente a la diferencia de contenido de oxígeno entre MTBE y TAME.

La producción de éteres para oxigenación de gasolina en México es realizada en seis plantas instaladas en refinerías de PEMEX, con las capacidades nominales indicadas en la tabla abajo, que suman 15.6 MBD como MTBE y TAME. Asumiendo una eficiencia de operación de 92%, sería posible producción de 14.4 MBD de MTBE. En la actualidad esas plantas producen cerca de 10.6 MBD, operando a aproximadamente 70% de su capacidad nominal, por limitaciones de disponibilidad de corrientes de materia prima desde las unidades catalíticas de las refinerías. En la Tabla 2. se presentan las materias primas utilizadas y los productos de esas plantas, en una configuración de volúmenes representativa para 2005 (PEMEX, 2005). Estas plantas eventualmente podrían ser adaptadas para utilizar etanol en sustitución al metanol, pasando a producir en ese caso ETBE (Etil Terbutil Éter) y TAEE (Teramil Etil Éter).

Tabla 2.1. Capacidad de las plantas de producción de MTBE en México

Refinería	MTBE (MBD)	TAME (MBD)
Madero	2.5	2.3
Cadereyta	2.9	0
Salamanca	1.1	0
Tula	2.3	2.3
Minatitlán	0	0
Salina Cruz	0.7	1.5
Total	9.5	6.1

Tabla 2.2. Materias primas y éteres producidos efectivamente en las plantas de PEMEX

Materias primas		Productos	
Metanol	2.9 MBD	MTBE	6.6 MBD
Butanos e butilenos	39.8 MBD	TAME	4.2 MBD
Pentanos	15.0 MBD		

2.2. Etanol de caña de azúcar

La producción de etanol, principalmente a partir de melazas de caña de azúcar, es una práctica bastante conocida en México, utilizada mayormente para producir bebidas. Para esa finalidad, diversos ingenios mexicanos poseen destilerías, pero no necesariamente operando tales unidades en todas las zafras. Otras materias primas, como el mezcal, son utilizadas pero de escaso interés energético, ya sea por su baja productividad o por su alto valor de mercado.

Las destilerías indicadas en la Tabla 2.3, que representan aproximadamente mitad de las destilarías mexicanas, que operaron en la zafra 02/03 y totalizaron una producción de 39.2 mil metros cúbicos de etanol (96º GL), utilizando como materia prima 167.4 mil toneladas de miel 85º Brix, correspondientes a 53.7% del total de miel producido en esas unidades. En esa zafra estos ingenios procesaron 12.2 millones de toneladas de caña, cerca de 23% del total nacional, cultivados en 143.5 mil hectáreas (COAAZUCAR, 2005). Para la capacidad de producción de

etanol por zafra se consideró 300 días de operación, un periodo más largo que la zafra ya que son utilizadas melazas.

Existen otros ingenios en condiciones de producir etanol, pero que no operaron en las últimas zafras. Considerando su capacidad diaria y análogamente una zafra de 300 días de operación, resulta una capacidad anual de aproximadamente 167.4 mil metros cúbicos. Los números anteriores y los datos de la Tabla 2.3 (COAAZUCAR, 2005) se refieren a todos tipos de etanol, siendo que particularmente para etanol anhidro se estima una capacidad productiva de 110 mil litros día, producidos en las destilerías vinculadas a dos ingenios, La Gloria y San Nicolás, ambos en el Estado de Veracruz, respectivamente con 70 mil y 40 mil litros diarios de capacidad instalada de destilación, que significan cerca de 20% de la capacidad total de destilación (García, 2006). Para las últimas zafras, los máximos valores de producción de etanol en los diversos ingenios mexicanos alcanzaran un total de 70 millones de litros/año. En ese sentido, es interesante observar que la producción alcanzada en la zafra 02/03 correspondió a 55% de ese máximo. La Figur.2 presenta como ha variado la producción de etanol de caña de azúcar en México en los últimos quince años.

Tabla 2.3. Capacidad instalada y producción de etanol en la zafra de 02/03 los ingenios de México

Ingenio	Capacidad instalada		Zafra 02/03		
	(litros/día)	(litros/zafra)	Miel producida (t)	Miel utilizada para etanol (t)	Etanol producido (litros)
Aarón Sáenz	28,500	8,550,000	39,756	21,028	4,948,000
Calipam	8,000	2,400,000	8,531	4,194	990,261
Constancia	30,000	9,000,000	21,675	21,248	4,997,400
El Carmen	18,000	5,400,000	19,815	11,872	2,923,000
El Mante	24,000	7,200,000	32,811	19,654	5,082,300
Independencia	15,000	4,500,000	7,845	4,743	1,250,908
La Joya	14,000	4,200,000	11,637	6,409	1,307,000
La Providencia	25,000	7,500,000	20,322	8,653	1,818,471
Pujiltic	20,000	6,000,000	49,380	14,122	3,373,004
San José de Abajo	25,000	7,500,000	15,048	4,348	1,118,000
San Nicolás	40,000	12,000,000	14,800	10,973	2,547,683
San Pedro	25,000	7,500,000	27,341	13,140	3,206,000
Tamazula	25,000	7,500,000	42,463	27,000	5,643,750
total	297,500	89,250,000	311,425	167,384	39,205,777

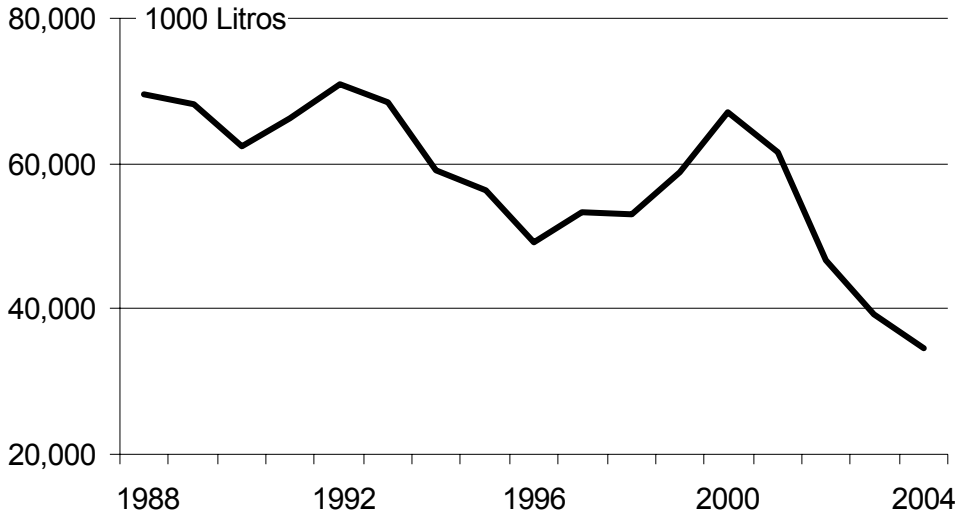


Figura 2.2. Producción de etanol de caña de azúcar en México, 1988/2004

En términos de caña procesada y azúcar producidos, la agroindustria cañera mexicana presenta una producción relativamente estable, de acuerdo a los indicadores presentados en la Tabla 2.4 (COAAZUCAR, 2005). El volumen de producción observado en las recientes zafras, alrededor de 4 a 5 millones de toneladas de azúcar, corresponde a aproximadamente 3.8% de la producción mundial y es prácticamente consumido en su totalidad por el mercado interno, siendo aun necesaria alguna importación para atender completamente las necesidades mexicanas. Considerando las últimas cinco zafras, la importación de azúcar anual fue de 149,000 toneladas, cerca de 2.5% de las necesidades del país (FAOSTAT, 2006).

El Estado de Veracruz es la región productora más importante, con 37% de las 58 plantas azucareras mexicanas y 39% de la producción de azúcar. La capacidad de procesamiento diario de esas plantas varía entre 2,200 a 20,000 toneladas, con un promedio de 6,680 toneladas. En términos de capacidad anual de procesamiento, 75% de los ingenios mexicanos presentan capacidades superiores a 80 mil toneladas y 17% procesan menos que 40 mil toneladas al año. Cerca de la mitad de la capacidad total de la agroindustria cañera mexicana se encuentra en manos privadas, con 27 ingenios bajo administración gubernamental (CNIAA, 2006). Entre los grupos privados, por volumen de producción se destacan el Grupo Beta San Miguel, Zucarmex, Sáenz y Piasa, respectivamente con 9.7%, 8.5%, 7.7% e 5.9% de la producción mexicana de azúcar.

Tabla 2.4. Datos básicos la agroindustria cañera de México

Año	Área cultivada	Producción de caña	Producción de azúcar
	(ha)	(t)	(t)
1990	511,653	34,894,735	3,173,308
1991	530,591	38,186,634	3,669,426
1992	480,975	35,476,716	3,298,722
1993	510,577	39,876,064	4,087,173
1994	492,597	34,097,564	3,559,439
1995	521,164	40,134,840	4,290,464
1996	577,106	40,183,904	4,391,269
1997	585,672	42,168,359	4,557,005
1998	634,197	47,355,479	5,188,137
1999	642,625	43,589,254	4,713,503
2000	619,343	42,102,937	4,710,354
2001	601,988	44,480,893	4,936,533
2002	610,121	42,903,686	4,885,726
2003	609,358	43,946,918	4,942,730
2004	612,360	45,455,470	5,039,680

Considerando las cinco zafras a partir del año 2000, los indicadores básicos de productividad en el campo y en la agroindustria son respectivamente 71.7 toneladas de caña por hectárea y 112 kg de azúcar por tonelada de caña procesada. La Figura 2.3 muestra cómo estos indicadores han variado poco a lo largo de los últimos años. Es importante observar que el relativo incremento de la productividad industrial fue consecuencia de mejoras tanto en la calidad de la caña como en propio proceso industrial. Como un índice de la eficiencia energética de los ingenios mexicanos se puede tomar el consumo de petróleo (fuel oil o combustóleo, como se le conoce en México) , que en la década de noventa era cerca de 20 kg por tonelada de caña procesada y en los últimos años ha bajado para casi la mitad, indicando una evolución favorable, aunque existe un claro espacio para perfeccionamiento, en la medida que el bagazo producido podría seguramente atender la demanda energética de la agroindustria cañera (Poy, 1998).

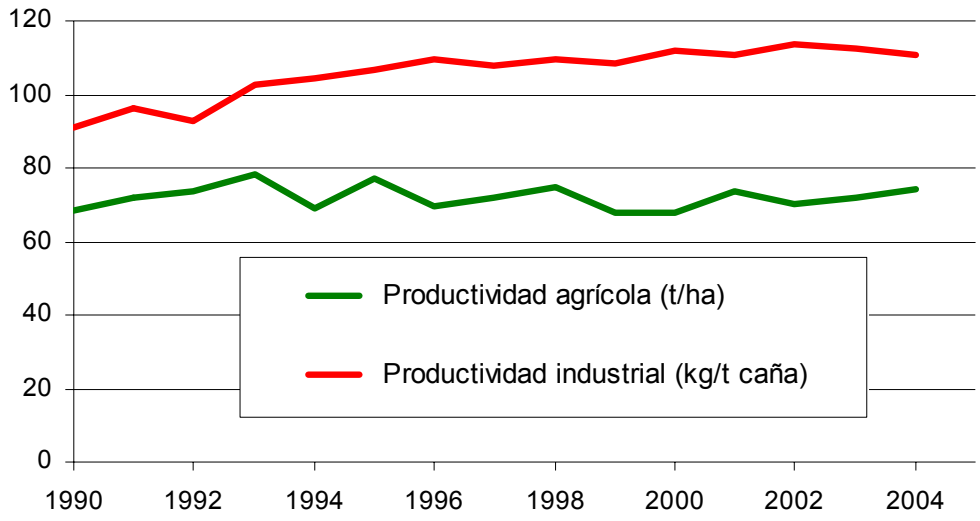


Figura 2.2. Evolución de indicadores de productividad en la industria azucarera de México

De interés para la producción de etanol, en promedio para todos los ingenios y con pequeña variación en los últimos años, fueron producidos cerca de 37.5 kg de miel con 85º Brix por tonelada de caña procesada, mientras por cada tonelada de miel utilizado para producción de etanol, resultaron 246 litros de etanol 96º GL, o sea serian producidos 8.8 litros de etanol anhidro por tonelada de caña procesada, en el caso que toda el miel disponible se utilizase para producción de etanol (CNIAA, 2006). Estos valores serán utilizados adelante en el presente estudio. Considerando solamente los ingenios con producción de etanol, la Figura 2.4 muestra que ha variado poco la disponibilidad específica de miel final y la producción de alcohol por unidad de melaza procesada. Asumiendo esa productividad de etanol y el total de caña procesada, podrían ser producidos cerca de 400 mil metros cúbicos de etanol por año.

En la Figura 2.5 se presenta la distribución de las plantas de la agroindustria azucarera en el territorio mexicano, adonde se percibe la importancia de las regiones de Costa del Golfo (Poy, 2005). Se estima que la agroindustria azucarera mexicana represente el 0.54% del PIB nacional mexicano y más de 13% del producto económico del sector agropecuario, silvicultura y pesca (INEGI, 2005). Eventualmente estos números no correspondan al total de etanol producido, pues posiblemente una parte no es contabilizada[1].

[1] Se informó que la producción real de etanol en México podría ser más de 20% superior a los valores indicados, debido a posibilidad de fraudes y desvíos de producción sin recaudación de impuestos.

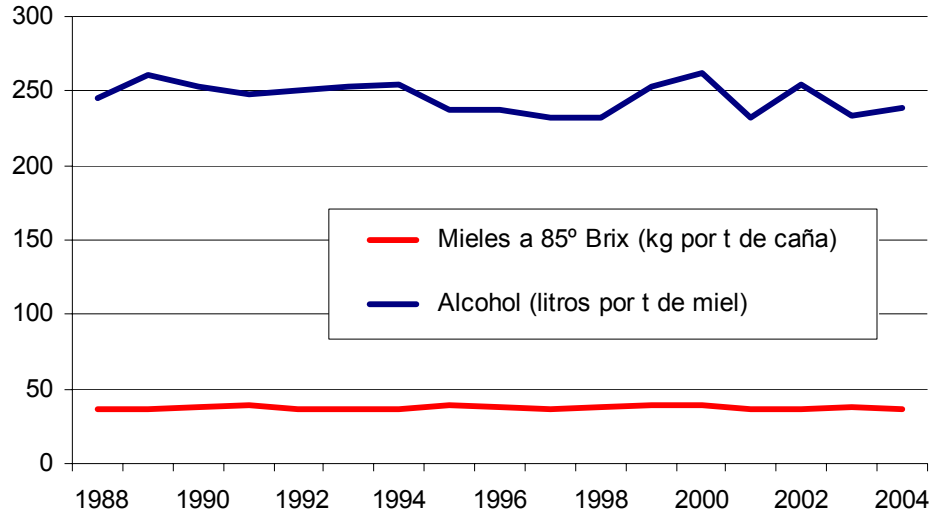


Figura 2.4. Evolución de la producción de miel final y alcohol en los ingenios mexicanos

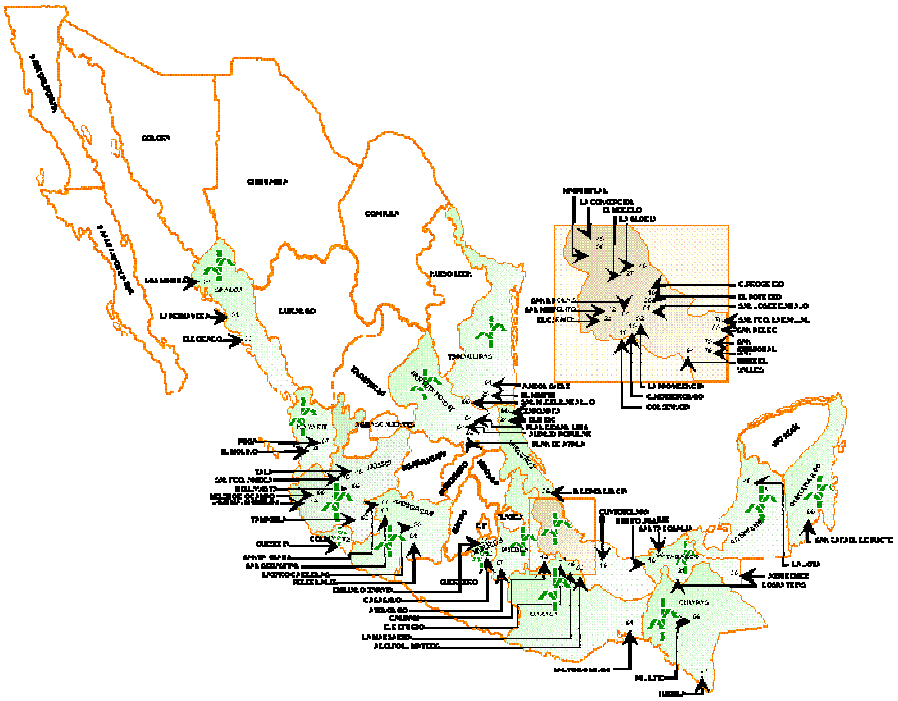


Figura 2.5. Ubicación de los ingenios azucareros en México (Poy, 2005)

3. Biomasas con potencial para producción de etanol

La producción de etanol suele emplear materias primas azucaradas o amiláceas, como respectivamente son la caña de azúcar y el maíz, que representan las alternativas más adoptadas en las plantas agroindustriales existentes hoy día. Sin embargo, la amplia diversidad edafoclimática de México y las particularidades de la agricultura practicada hace siglos en ese país proporcionan diversas otras opciones, que interesa evaluar preliminarmente, estableciendo un punto de partida para evaluaciones más detalladas. Como un ejemplo de la gama de materias primas que, por lo menos como planteamiento teórico podrían ser utilizadas para producir etanol, la tabla a seguir reúne desde cultivos tradicionales hasta otros casi desconocidos y algunos subproductos agroindustriales (adaptado de SAGARPA, 2004).

Tabla 3.1. Fuentes posibles de material prima para producción de etanol

Producto básico a ser convertido en etanol	Ejemplos
Azucares	• **Sacarosa de cultivos sacáridos:** caña de azúcar, remolacha, sorgo dulce • **Azucares invertidos y glucosas:** melazas y otros residuos agroindustriales, como lactosas
Almidón	• **Granos de cereales:** maíz, sorgo, trigo, cebada • **Productos procesados:** harina de trigo, cascarilla de maíz • **Raíces almidonadas:** yuca, papa, patata, alcachofa israelita
Celulosa	• **Residuos lignocelulósicos:** aserrín, paja, residuos boscosos, residuos agrícolas, lejía celulósica • **Residuos urbanos y industriales:** papel, fracciones celulósicas

Sin embargo, seria poco eficaz pretender profundizar el análisis de una lista tan amplia de materias primas y algunos criterios sencillos permiten reducir el número de cultivos a ser evaluado en el presente estudio. A pesar del precio generalmente atractivo de las materias primas celulósicas, como la paja de trigo, el cogollo (puntas de la caña) y las hojas de caña, las tecnologías para producción de etanol a partir de estos materiales aun están en desarrollo, con perspectivas comerciales aun no definidas. Por otra parte, hay evidentes restricciones climáticas y de disponibilidad de agua que limitan la expansión en México de algunos cultivos de clima más templado, asimismo existen limitaciones económicas en la oferta de ciertos productos, por su alto costo o por presentar una utilización alternativa más ventajosa.

Buscando auxiliar en la definición de los cultivos a considerar y bajo los supuestos anteriores, se seleccionó un grupo de materias primas, listado en la Tabla 3.2Tabla 3.2., justamente las más mencionadas como de interés bioenergético, asociado a un conjunto de indicadores cualitativos para evaluar las posibilidades de tales productos agrícolas en la producción de etanol. Cabe observar que la valoración presentada en esa tabla podrá cambiar como resultado del desarrollo de nuevas tecnologías industriales y agrícolas, así como por la evolución favorable del marco económico, pero es importante reconocer la elección preliminar adecuada de las fuentes de materia prima como absolutamente determinante para el éxito de un

programa bioenergético y no parece recomendable pretender promover el uso energético de cultivos de posibilidades prometedoras pero aun poco conocidas.

Tabla 3.2. Aspectos generales de las biomasas de interés para la producción de etanol

Cultivo	Conocimiento agronómico	Exigencia edafoclimática	Tecnología para producción de etanol	Posibilidad de integración productiva y uso de subproductos
caña	alto	alta	conocida y practicada	alta
maíz	alto	alta	Conocida y practicada (EUA)	alta
sorgo dulce	mediano	mediana	conocida	mediana
yuca	limitado	baja	conocida (Tailandia)	baja
remolacha azucarera	bajo	mediana	conocida (Europa)	baja

En ese sentido y sin restar relevancia a estudios complementarios de carácter aplicado que delimiten nuevas posibilidades de forma detallada, parece suficientemente claro que a corto y mediano plazo los cultivos más atractivos y que merecen una inmediata atención son la caña de azúcar, el maíz, el sorgo y la yuca. El caso de la remolacha puede presentar un singular nicho de interés en México, relacionado con la disponibilidad de vapor de baja presión de la Central Geotermoeléctrica de "Cerro Prieto", localizada en la zona del Valle del Mexicali, adonde se cree ser posible expandir ese cultivo[2].

Un factor que justificaría limitar la evaluación de las materias primas de interés apenas a la caña y el maíz es la disponibilidad de informaciones necesarias para adecuadamente cuantificar costos, beneficios y caracterizar procesos, inclusive por que en los países adonde la producción de etanol ya se desarrolla de forma comercial se utiliza esencialmente estos cultivos. Así, para seguir evaluando el sorgo, la yuca y la remolacha es preciso reconocer que la calidad y representatividad de los datos es necesariamente más reducida.

A continuación, para los cultivos considerados de mayor interés, se presentan valores de productividad y costos de producción (sin incluir el costo de renta de la tierra), como promedios para México y para los contextos recomendados como más adecuados o prometedores (Lazcano, 2006):

a) caña de azúcar - caña de temporal en las regiones Huastecas y Veracruz Centro.
b) maíz grano y sorgo dulce - región del Mar de Cortés, específicamente Sinaloa, con tecnología de riego en los Valles de Culiacán y del Fuerte.
c) yuca y remolacha - las regiones de Bajo Papaloapan y Peninsular

[2] Como una referencia para la evaluación del empleo energético de la remolacha, cabe observar que la producción europea de azúcar a partir de remolacha se encuentra en clara retracción debido a reducción de las barreras arancelarias que protegían este cultivo frente a los costos significativamente más bajos del azúcar de caña.

Como se citó, hay una carencia de información en detalle para los cultivos no convencionales y los costos fueron estimados con base a situaciones análogas en otros países. Para el sorgo se encuentran datos para el sorgo grano, que pero puede ser utilizado para producir etanol mediante procesos similares al maíz, pero poca información se encontró sobre el sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en México, la variedad que en todo el mundo ha sido más frecuentemente considerada como cultivo de interés para producción de etanol, en rutas semejantes a la caña, así se tomaran indicadores de productividad y costos observados en culturas americanas (Rains et al., 2005), agregándose los costos de cosecha y transporte similares a caña en México (Poy, 2005), resultando 20.8 dólares por tonelada. Para la yuca se tomaran datos de cultivo para fines industriales en Brasil y en Magdalena, Colombia, adonde ese cultivo es considerado relevante, adoptándose un costo unitario de 51 dólares por tonelada (ABAM, 2006 y Quintero et al., 2004). Para la remolacha se adoptaran datos de costos del estudio de Lazcano, bastante similares a los resultados de un reciente estudio australiano (RIRDC, 2005). Sin embargo, es forzoso reconocer que producir 85 toneladas por hectárea, conforme a lo planteado en ese informe, parece bastante optimista, particularmente considerando los valores observados en las resultados consolidados de zafra para diversos países europeos con larga tradición en cultivos industriales de remolacha (F.O. Licht, 2005). De ese modo se adoptó una productividad de 51 toneladas por hectárea, idéntica al promedio europeo (FAOSTAT, 2006) y utilizando los costos unitarios indicados por Lazcano, se calculó un costo de producción de 35.6 dólares por tonelada.

Tabla 3.3. Productividad y costos estimados para las biomasas de interés para la producción de etanol en México

Cultivo	Área cultivada miles ha	Productividad promedio t producto/ ha	Contexto recomendado	
			Productividad t producto/ ha	Costo de producción US$/t
Caña	612.4	71	61	21.7
Maíz	7,220.2	2.8	10	***119.8**
Sorgo dulce	12.3	-	40	20.8
Yuca	sin datos	-	14	51.0
Remolacha azucarera	sin datos	-	51	35.6

* no incluye la venta de granos de destilería

A partir de esos valores se estimó la productividad y costos correspondientes en etanol, como se presenta a continuación. En todas esas evaluaciones se adoptó una tasa de cambio de 10.89 pesos mexicanos por dólar, valor promedio para 2005 (CEFP, 2005). Obsérvese que el costo de producción para el etanol se refiere solamente al costo de la materia prima, sin considerar el costo de renta de la tierra o el valor de otros coproductos, como los granos de destilería, relevante para el maíz. Para el caso de la caña se refiere al proceso empleando directamente jugo de caña. En los capítulos siguientes del presente informe los procesos de conversión y los costos serán presentados para cada materia prima, detallándose los parámetros adoptados en la Tabla 3.4 para conversión hacia etanol.

Tabla 3.4. Productividad de etanol y costos de las biomasas de interés por unidad de etanol producido en los contextos recomendados

Cultivo	Productividad industrial litro/ t	Costo de la materia prima US$/ litro
Caña	80	0.271
Maíz	398	0.296
Sorgo dulce	35	0.596
Yuca	170	0.300
Remolacha azucarera	86	0.414

Estos resultados deben ser analizados críticamente, en la medida que representan expectativas y contextos diferenciados entre los cultivos estudiados. Por ejemplo, no se consideró la eventual producción de coproductos con valor económico importante, caso relevante para el maíz, cuando puede significar una reducción de cerca de 20% en el costo del etanol, como se verá adelante en Capítulo 5 de este informe. La productividad agrícola de la caña inferior al promedio nacional mexicano es debido al carácter temporal del cultivo considerado, exactamente para no utilizar las tierras más nobles y de riego. A su vez, para el maíz se asumió una elevada productividad, bastante más alta que el promedio del país, por emplearse riego. Igualmente para los demás cultivos evaluados, es esencial remarcar que se tratan de contextos arbitrariamente definidos, representando configuraciones productivas particulares y en la extensión posible, factibles de reproducción en mayor escala en México. Hecho esas reservas, se presenta en la próxima figura como varía la productividad agroindustrial de etanol, para los contextos evaluados.

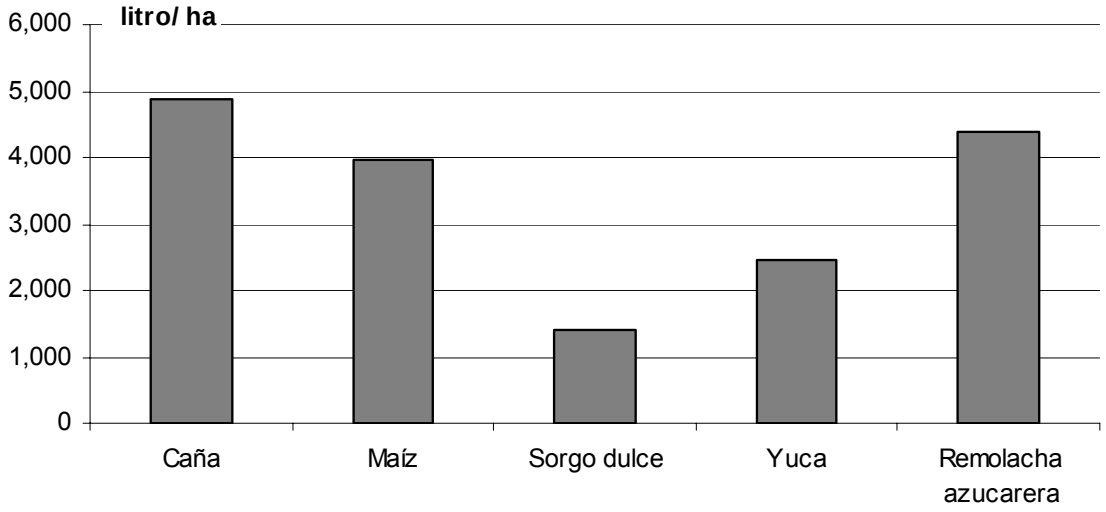


Figura 3.1. Productividad agroindustrial de etanol para diferentes cultivos en los escenarios evaluados

Los aspectos principales a tener en cuenta al promover un cultivo para fines energéticos son naturalmente su productividad y su costo, como se mostró en los últimos párrafos. De hecho, para plantear un cultivo para fines bioenergéticos es esencial minimizar los requerimientos de área y presentar elevada viabilidad económica. Obsérvese que la materia prima representa el componente más grande del costo final del etanol, típicamente alrededor de 60%. Sin embargo hay aspectos adicionales también muy importantes como la competencia con la producción de alimentos, la capacidad de provisión de servicios de extensión agrícola y la demanda asociada de recursos naturales para producción agrícola, particularmente suelos fértiles y agua. Además, la existencia de coproductos y subproductos, de valor alimentario, industrial o energético, es también un aspecto muy importante, que puede conferir una deseable flexibilidad en la producción bioenergética, asociando la disponibilidad de biocombustibles con otras fuentes de valor económico.

Desde el punto de vista de la disponibilidad interna de alimentos, entre los cultivos bajo evaluación para México se destaca desfavorablemente el maíz y el trigo, componentes básicos de la dieta nacional y actualmente importados respectivamente en 26% y 68% de las necesidades del país (FAOSTAT, 2006). Dedicar las mejores regiones productivas a fines bioenergéticos en contextos de escasez de bienes básicos debe ser tomado con cautela. Igualmente considerando las condiciones mexicanas, se recomienda cuidado al proponer la expansión de cultivos para producción de biocombustibles empleando regularmente riego, que implica en costos adicionales y principalmente la priorización de la bioenergía frente a otros usos.

Otro punto relevante para la selección de biomasas con potencial para producción de biocombustibles es el balance energético, o sea, la relación entre la energía producida y la demanda de energía directa e indirecta para producir energía, siendo más interesantes los cultivos de alta productividad y baja demanda de insumos energéticos exógenos. En ese sentido no se disponen de estudios sobre la realidad mexicana, pero detallados estudios hechos en Brasil y EUA apuntan respectivamente relaciones energéticas (output/input) entre 8 a 10 para etanol de caña y hasta 2 para etanol de maíz. Solo este aspecto ya indicaría un limitado espacio para el maíz como fuente de materia prima para fabricar etanol comparativamente a caña, sin embargo este tema será abordado en más extensión en otro estudio de ese proyecto, en la Tarea 6.

Con relación a los cultivos no convencionales para producción de etanol, como el sorgo, yuca y remolacha, es muy importante tener claro su carácter innovador, eventualmente oportuno para nichos particulares de alto interés, por su eventual adecuación a suelos salinos y baja exigencia de agua, pero aún carecen de estudios agronómicos más densos para recomendarse efectivamente su empleo de forma masiva. La reducida o casi inexistente experiencia mexicana en tales cultivos apunta para la necesidad de que se emprendan experimentos y estudios en ese campo, caracterizando mejor las productividades y susceptibilidades a plagas y enfermedades, sin los cuales seria una aventura sugerir su utilización. Por ejemplo, se menciona entre las dificultades particulares para promover la expansión del sorgo la reducida base de germoplasma, poca adaptación ambiental y baja resistencia a plagas y malezas (Venturi y Venturi, 2003).

Bajo esos supuestos la caña surge naturalmente como la opción más evidente para promover en el corto plazo la producción de etanol en México, alternativa que se refuerza al tener en

cuenta la larga experiencia del país con ese cultivo, insertado hace siglos en la pauta cultural y agronómica mexicana. No obstante, eso no quiere decir que la caña es necesariamente la única opción para producir etanol en México. Progresivamente, en la medida en que avance el conocimiento sobre otras alternativas y se defina mejor el espacio pretendido para el etanol en la oferta agrícola mexicana, la diversificación podrá ocurrir en bases consistentes. Para cualquier escenario, es importante hacer hincapié en la necesidad de que la producción bioenergética no sea considerada como una sustituta para la actual producción agrícola, pero fundamentalmente un nuevo cultivo, a utilizar tierras marginales en un proceso de expansión y diversificación de las actividades.

En el próximo capítulo se presentan las tecnologías que permiten producir etanol utilizando las materias primas consideradas de mayor interés.

4. Procesos tecnológicos relevantes para producción de etanol

La figura siguiente sintetiza las rutas tecnológicas que pueden ser empleadas en la producción de etanol, sin representar los subproductos presentes en todos los casos. Cabe reiterar que procesos empleando materias primas celulósicas todavía se encuentran en desarrollo, con buenas perspectivas pero a mediano plazo, con pocas plantas actualmente operando, generalmente en nivel experimental, como la planta de Iogen en Canadá. Así, las biomasas azucaradas y amiláceas, respectivamente bien representadas por la caña de azúcar y el maíz, como se vió en el apartado anterior, son las materias primas de inmediato interés. Para la caña, adicionalmente será brevemente presentada la utilización del bagazo y hojas de la caña como materia prima para producción de etanol una tecnología prometedora, pero todavía en desarrollo. Actualmente el bagazo representa una fuente de energía en el procesamiento de la caña y su utilización debe considerar también los usos alternativos de ese producto.

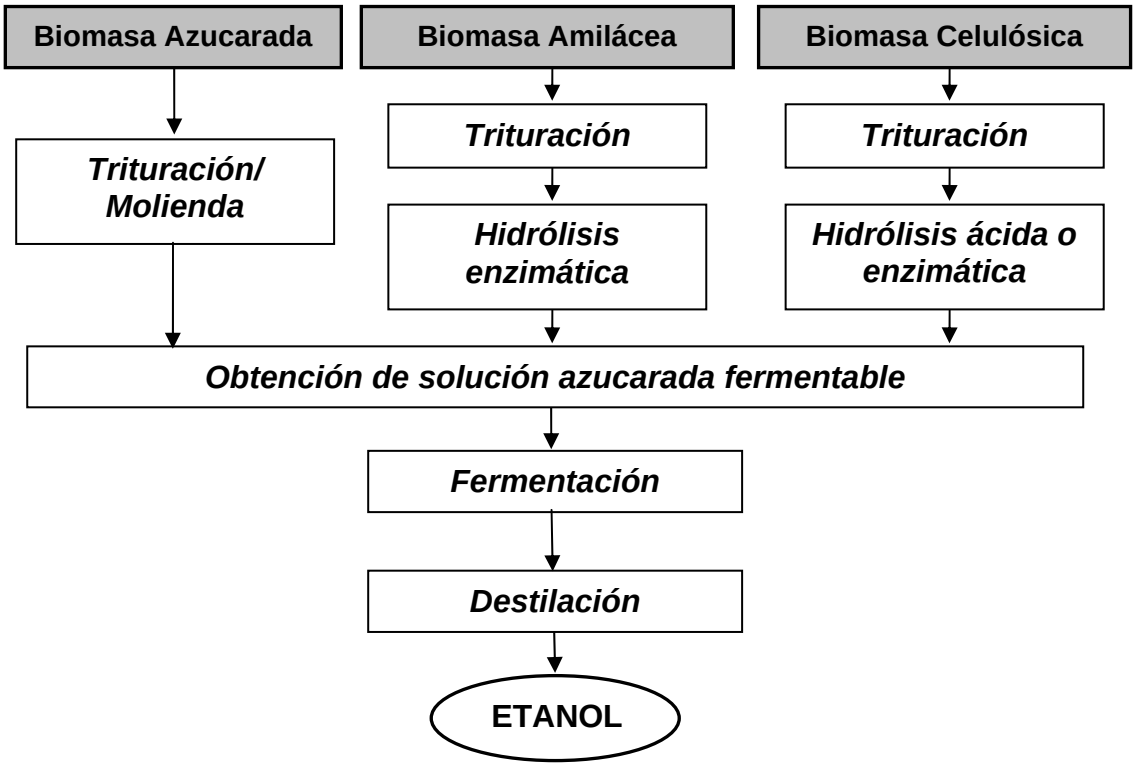


Figura 4.1. Procesos para producción de etanol

Una visión de los diferentes procesos y de los balances de masa referentes a los casos considerados de mayor interés para la realidad mexicana es presentada a continuación. Como esperado, las tecnologías ya implementadas (caña y maíz) permitieran una buena base de información, mientras la escasez de datos para las alternativas innovadoras implicó en una menor profundidad de la evaluación presentada para el sorgo, remolacha y yuca.

4.1. Procesos utilizando caña de azúcar

La materia prima clásica para producción de etanol es la caña de azúcar, por su alto rendimiento y simplicidad en el proceso para obtención de soluciones dulces fermentables. Esencialmente dos reacciones son necesarias para convertir la sacarosa en etanol: una hidrólisis de la sacarosa, con producción de hexosas y la fermentación alcohólica, con auxilio de levaduras del tipo *Saccharomyces Cerevisiae*, como se indica en las expresiones siguientes.

$$\underset{\textit{sacarosa}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \rightarrow \underset{\textit{glucosa}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\textit{fructosa}}{C_6H_{12}O_6} \qquad (1)$$

$$\underset{\textit{hexosa}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow 2\,\underset{\textit{etanol}}{C_2H_6O} + 2\,CO_2 \qquad (2)$$

Considerando las varias fuentes de materia prima azucarada existentes en la agroindustria cañera, diversas alternativas pueden ser adoptadas para la producción de etanol, desde la fermentación directa del jugo de la caña hasta el empleo de soluciones acuosas de mieles finales o intermediarias, o aún mezclas de mieles e jugo. De hecho, en los ingenios, la sacarosa de la caña puede ser convertida en azúcar de diversos grados de calidad, pero en el proceso de fabricación siempre una fracción del azúcar se "invierte" según la expresión (1) arriba, degradándose en azucares más sencillos, las hexosas, que constituyen los mieles o las melazas y pueden dar origen a mostos fermentables y luego, a etanol, como presentado en la Figura 4.2.

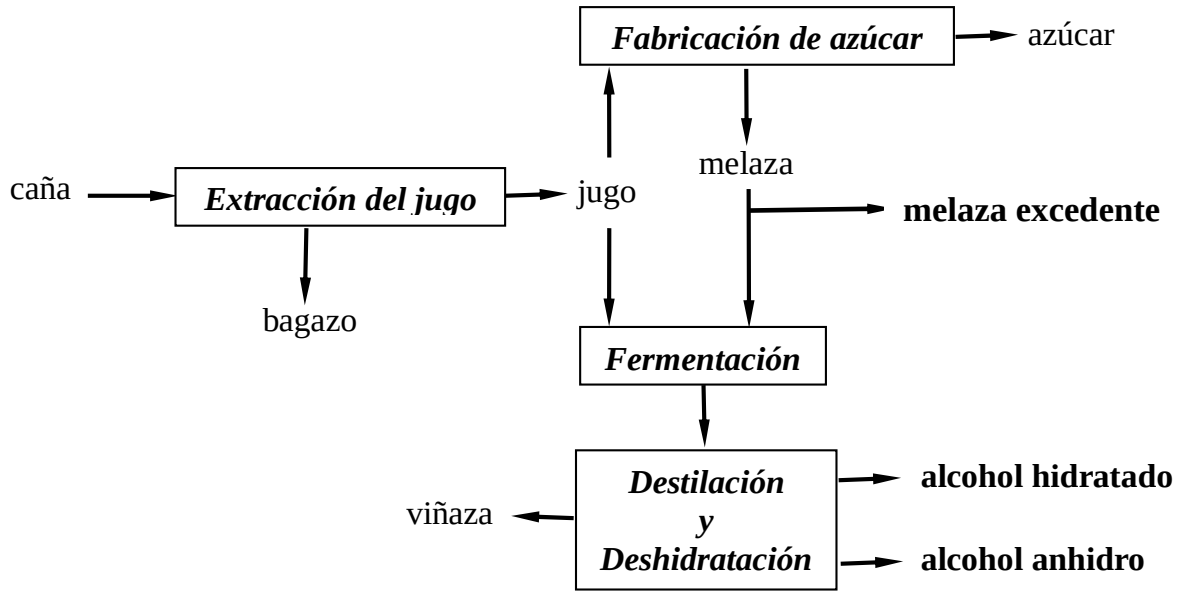


Figura 4.2. Procesos de producción de alcohol de caña de azúcar

Usualmente en los ingenios de azúcar, posteriormente a la producción del jarabe por concentración del jugo de la caña, se emplean hasta tres sucesivas cristalizaciones o "tres masas". Cada proceso de cristalización es seguido por una separación de los cristales de sacarosa del llamado licor madre o miel, mediante centrifugación. Así, la primera etapa de cristalización y centrifugación permite obtener el azúcar A y el miel A, luego esta miel A es sometida a nueva cristalización y centrifugación, resultando el azúcar B y la miel B, finalmente de modo análogo se produce el azúcar C y la miel C, considerada agotada y de la cual no se recupera más sacarosa, sin embargo contienen unos 50% de material fermentable. En el Anexo 1 son presentadas las etapas del proceso industrial de fabricación de etanol y azúcar de caña.

La melaza o miel final actualmente producida por los ingenios mexicanos, alrededor de 1,668 miles toneladas en 2004 (CNIAA, 2006), es parcialmente utilizada para la producción de etanol y alimentación animal, pudiendo ser empleada como materia prima para una serie de otros productos, como levaduras, miel proteica, L-lisina, glutamato monosódico y ácido cítrico. Las exportaciones de melazas de México a Estados Unidos son relevantes, superiores a 440 miles toneladas en 2005, o sea, aproximadamente una cuarta parte de la producción (F.O.Licht, 2006).

Buscando considerar las alternativas de mayor interés para México, se detalla sucesivamente la producción de etanol empleando mieles agotadas, mieles B y jugo directo. Cabe observar que la utilización de mieles intermedias puede significar una interesante sinergia entre la producción de azúcar y etanol, con ventajas en términos de productividad y calidad del producto, siendo la ruta preferencial adoptada en Brasil. De acuerdo con los precios relativos y las demandas, puede ser desviada más o menos sacarosa para fabricación de azúcar, dejando consecuentemente menos o más materia prima para producir etanol. De ese modo, la variabilidad de la producción depende directamente del contenido total de azucares de la melaza utilizada para preparar el mosto, cantidad usualmente evaluada según el contenido de los "azúcares reductores totales", que corresponden a suma de la sacarosa y las hexosas.

Considerando procesos teóricos de conversión de glucosas en etanol y la densidad de ese biocombustible (792 kg/m^3), se puede determinar que un kilogramo de sacarosa corresponde teóricamente a 0.679 litros de etanol anhidro, o en otras palabras un litro de etanol requiere 1.473 kilogramos de sacarosa para ser producido. En los procesos reales de fermentación y destilación para los tres casos evaluados adelante, la eficiencia en la conversión de azucares para etanol y obtención de etanol anhidro del vino (mosto fermentado) fue adoptada como respectivamente 90% y 98%, valores de referencia para las plantas brasileñas (Macedo, 2000). Bajo tales condiciones, por litro de etanol anhidro se requieren 1.67 kg de azucares reductores totales. Para la caña fue adoptado un contenido de sacarosa ($Pol_{caña}$) y de fibra respectivamente de 13.5% y 13.2%, promedios de los valores observados en las últimas cinco zafras para los ingenios mexicanos (CNIAA, 2006).

4.1.1. Producción de etanol de melazas agotadas (miel C)

Para condiciones típicamente observadas en los ingenios mexicanos son producidos cerca de 37.5 kg de miel C o miel final con 85º Brix, por tonelada de caña procesada (CNIAA, 2006). El grado Brix corresponde al porcentual en peso de sólidos solubles en la miel, cuyo contenido

de azúcares reductores totales en las melazas agotadas puede ser determinado por su "pureza en ART". Para las condiciones de las melazas producidas en los ingenios de México se estima que este parámetro varíe entre 32 y 63% (Poy, 2005). Así, apenas utilizando las melazas agotadas inevitablemente resultantes de la fabricación de azúcar, entre 6 y 12 litros de etanol pueden ser producidos por tonelada de caña procesada, como mínimo. El valor observado en los ingenios mexicanos que poseen destilerías, 8.8 litros por tonelada de caña, situase en este rango y puede ser considerado representativo.

Esquemáticamente, la Figura 4.3 representa los principales flujos de masa observados en esa alternativa, conforme las condiciones mexicanas. La Tabla 4.1 presenta los componentes básicos de un balance de insumos y productos en ese caso, con valores estimados de acuerdo a las condiciones observadas en ingenios brasileños y características de la caña en México. Se consideró que el consumo de vapor adicional para la producción de etanol, estimado en 2.5 kg de vapor por litro de etanol, representando cerca de 5% del consumo del ingenio, sea poco relevante y pueda ser absorbido por incrementos de eficiencia en el sistema de vapor existente.

Tabla 4.1. Insumos y productos en la producción de etanol a partir de las melazas agotadas

Insumos		
Caña de azúcar	1,000	kg
Fuel oil (podría ser remplazado por bagazo)	10.7	kg
Electricidad (puede ser producida a partir del bagazo)	12.5	kWh
Agua tratada	5,600	litro
Ácido sulfúrico	0.026	kg
Urea (nitrógeno para las levaduras)	0.052	kg
Productos y subproductos		
Azúcar	112	kg
Etanol anhidro	8.8	litro
Bagazo con 50% humedad (consumido en el ingenio)	264	kg
Vinazas	88 a 141	litro
Cachaza (torta de filtro)	30	kg
Levadura (excedente a las necesidades de la producción)	1.6	kg
CO_2 (producido en las cubas de fermentación)	6.9	kg

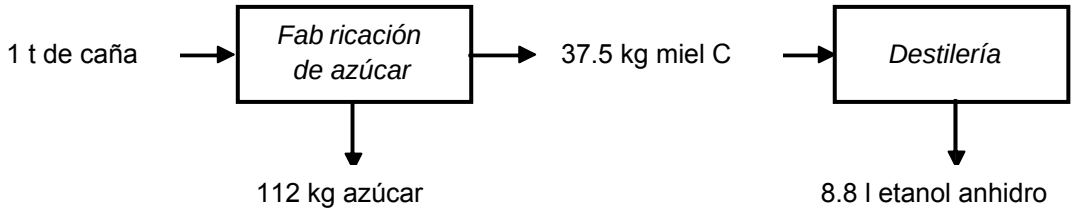


Figura 4.3. Flujos básicos en la producción de etanol a partir de melazas agotadas

4.1.2. Producción de etanol de melazas intermediarias (miel B)

Cuando hay interés en producir más etanol que en el caso anterior, se disminuye proporcionalmente la cantidad de sacarosa convertida en edulcorante y se desvía más melaza hacia la producción de etanol, en ese caso produciendo en el ingenio solamente los azucares A y B, y destinando la miel B, a veces llamada de miel rica, para la producción de etanol.

Bajo el concepto de aumentar la producción relativa de etanol, pueden ser adoptados procedimientos más complejos, por ejemplo con el uso de mostos combinando jugo directo o jugo pobre de los filtros y parte de las melazas intermediarias, buscando simultáneamente reducir consumo de servicios auxiliares e insumos químicos, ampliando los beneficios de la integración productiva etanol/azúcar. Basándose en la amplia experiencia brasileña con esa tecnología, son citados los siguientes puntos como más relevantes en esa integración (Finguerut , 2005):

a. Todas las corrientes contiendo azucares de baja calidad, como los jugos de los últimos molinos y el jugo de los filtros pueden ser utilizados para producir etanol sin representar perdidas de azúcar. Asimismo, todos los problemas de producción en la fábrica de azúcar, que resulten en disponibilidad de materiales azucarados, pueden ser resueltos de forma sencilla, enviando tales materiales para la destilería.
b. Al utilizar solo dos masas las melazas no son agotadas, permitiendo una calidad más elevada del azúcar (mejor color y pureza) y consecuentemente mejores precios.
c. El vapor producido en los evaporadores puede ser empleado eficientemente para tratamiento del jugo a ser fermentado y la destilería.
d. La necesidad de concentrar el jugo a ser fermentado se reduce pues el contenido de azucares puede ser ajustado de forma sencilla mediante la mezcla con melazas, hasta la concentración más adecuada (18-24 ^{o}Brix), permitiendo producir un vino con elevada concentración alcohólica, dependiendo de la tolerancia alcohólica de las levaduras empleadas..
e. Las mismas instalaciones auxiliares (utilidades, disposición de residuos, laboratorios, talleres de mantenimiento, seguridad industrial, gestión y comercialización), pueden ventajosamente ser utilizadas para el azúcar y el etanol producidos.

En la Figura 4.4 se presenta el esquema de equipos y procesos para un ingenio produciendo etanol a partir de melazas intermediarias (adaptado de Finguerut, 2006). Otro esquema semejante, para un ingenio real de Brasil, es presentado en el Anexo 1.

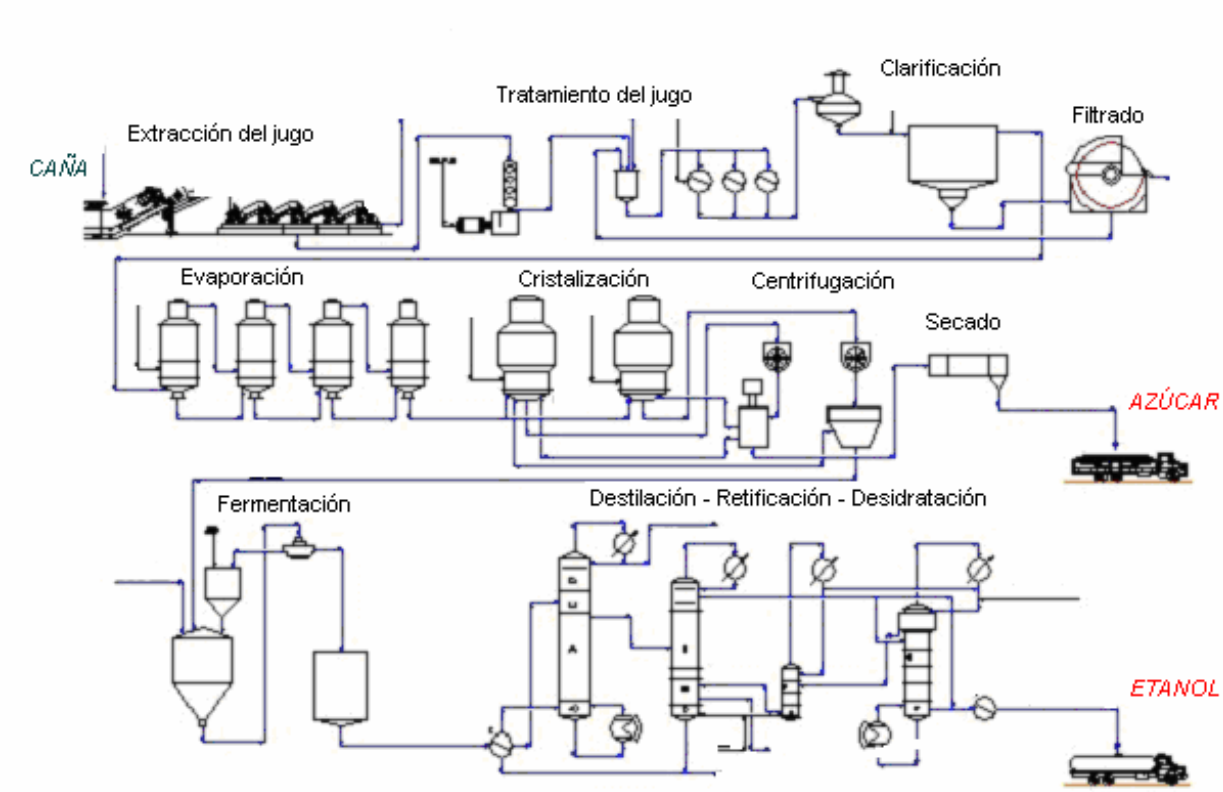


Figura 4.4. Esquema de un ingenio para la producción de combinada de azúcar y etanol

En ese contexto diversos escenarios productivos son factibles, dependiendo directamente del contenido de azucares que presenta la melaza enviada para la destilería. En un cálculo que podría ser considerado conservador, un estudioso mexicano evalúa el uso de miel B para producir etanol, estimando por tonelada de caña, una producción simultánea de 104.3 kg de azúcar y 14.6 litros de etanol (Poy, 1998). En Brasil, correspondiendo a una división en proporciones iguales de los azucares de la caña entre los dos productos, en promedio son producidos cerca de 67 kg de azúcar y 42 litros de etanol, por tonelada de caña procesada.

Entre estos límites y buscando reproducir una situación de bajo impacto en producción azucarera y una producción de etanol relativamente importante, admitiendo una producción de 61 kg de miel B por tonelada de caña procesada, con 82º Brix y un contenido de ART en el rango 49 a 60%, se estima una reducción en la producción de azúcar de 18%. Utilizando una melaza con esas características se espera una producción de etanol anhidro de 280 litros por tonelada de miel, resultando por tanto 17.1 litros de etanol. Esta configuración será tomada como representativa para los estudios posteriores de utilización de las melazas intermediarias, es sintetizada en la Figura 4.5 y en la Tabla 4.2.

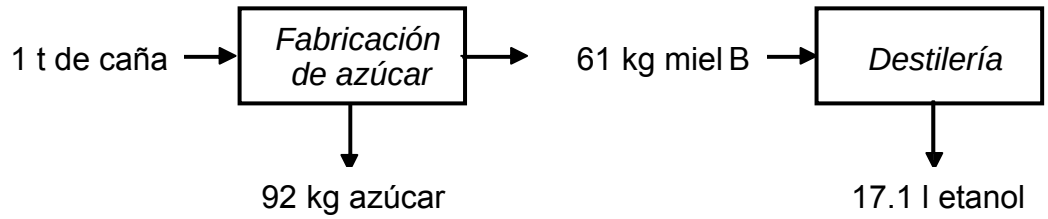


Figura 4.5. Flujos básicos en la producción de etanol a partir de melazas intermediarias

Para tal caso, adoptando una demanda de vapor de 450 kg por tonelada de caña molida y una relación vapor/bagazo de 2.2, se estimó una reducción de 6% en la demanda de vapor y consecuentemente un consumo de bagazo menor en la misma proporción. Estas estimaciones fueron desarrolladas tomando como referencia un estudio detallado de conversión de plantas azucareras para producción de etanol. (Almazán y González, 1999). Para las condiciones mexicanas, el efecto del consumo de vapor más bajo en la producción combinada de azúcar y etanol puede ser considerado mediante el cómputo de la reducción en la demanda de combustible adicional (fuel oil). En el caso presentado anteriormente, con 18% de reducción de la producción de azúcar y 17.1 litros de etanol por tonelada de caña procesada, se estimó un consumo de vapor inferior en 6%, permitiendo un consumo de fuel oil cerca de 30% más bajo que el valor indicado en la Tabla 4.1, cuando se toma respectivamente para el bagazo y el fuel oil productividades de 2 y 13 kg de vapor por kg de combustible.

Tabla 4.2. Insumos y productos en la producción de etanol a partir de melazas intermediarias, estimados para 18% de reducción en la producción de azúcar y 17.1 litros de etanol por tonelada de caña

Insumos		
Caña de azúcar	1,000	Kg
Fuel oil	7.4	Kg
Electricidad (puede ser producida a partir del bagazo)	12.5	kWh
Agua tratada	5,600	Litro
Ácido sulfúrico	0.050	Kg
Urea	0.100	Kg
Productos y subproductos		
Azúcar	92	kg
Etanol anhidro	17.1	litro
Bagazo con 50% humedad (consumido en el ingenio)	264	kg
Vinazas	171 a 274	litro
Cachaza	30	kg
Levadura	3.9	kg
CO_2 (producido en las cubas de fermentación)	13.3	kg

Es interesante reiterar que esta alternativa permite una ancha gama de perfiles productivos. Para evaluar diferentes escenarios de producción combinando azúcar y etanol, puede ser usada una expresión frecuentemente utilizada en Brasil para determinar la eficiencia industrial teórica en plantas que producen simultáneamente y en proporciones variables etanol y azúcar, traduciendo en ART ambos productos, como se presenta a continuación.

$$\eta_{teórica} = \frac{ART_{productos}}{ART_{caña}} = \frac{\frac{S}{0.95} + \frac{E}{0.647}}{ART_{caña}} \qquad (3)$$

adonde:

$ART_{productos}$= azucares reductores totales en los productos, (kg/t caña)
$ART_{caña}$= azucares reductores totales en la caña, (kg/t caña)
S = azúcar producida, (kg sacarosa/t caña)
E = etanol anhidro producido, (litro/t caña)
$\eta_{teórica}$ = eficiencia industrial teórica

Típicamente y en la ausencia de datos experimentales, se estima que el contenido de ART en jugos de alta pureza, como jugo directo de caña, sea la suma del los azucares reductores formados a partir de la sacarosa con el contenido de otros azucares reductores, estimados en 0,5% del peso de la caña, resultando:

$$ART_{caña} = 1.05\left(\frac{Pol_{caña}}{0,95}\right) = 1.105\, Pol_{caña} \qquad (4)$$

Partiendo del rendimiento industrial ("eficiencia en fábrica") promedio observado en los ingenios mexicanos durante las últimas cinco zafras, 82.6%, y asumiendo una caña con 13.5% de sacarosa (CNIAA, 2006), es posible estimar la relación entre la producción de etanol versus la producción de azúcar, conforme presentado en la Figura 4.6. Cabe observar que esa situación representa un ingenio mexicano promedio, seguramente existiendo situaciones de rendimiento superior e inferior al utilizado.

Evaluando la producción de etanol utilizando mieles agotadas, por lo menos 8.8 litros de etanol pueden ser siempre producidos, ya que una fracción de la sacarosa de la caña no se alcanza convertir en azúcar y así, la máxima producción de azúcar indicada en esa figura jamás podrá ser alcanzada. Naturalmente que, en función de los precios y estrategias de mercado, los productores de azúcar y etanol empleando tal tecnología pueden elegir el perfil de producción más adecuado, inclusive tomando en cuenta las limitaciones de almacenamiento y logística.

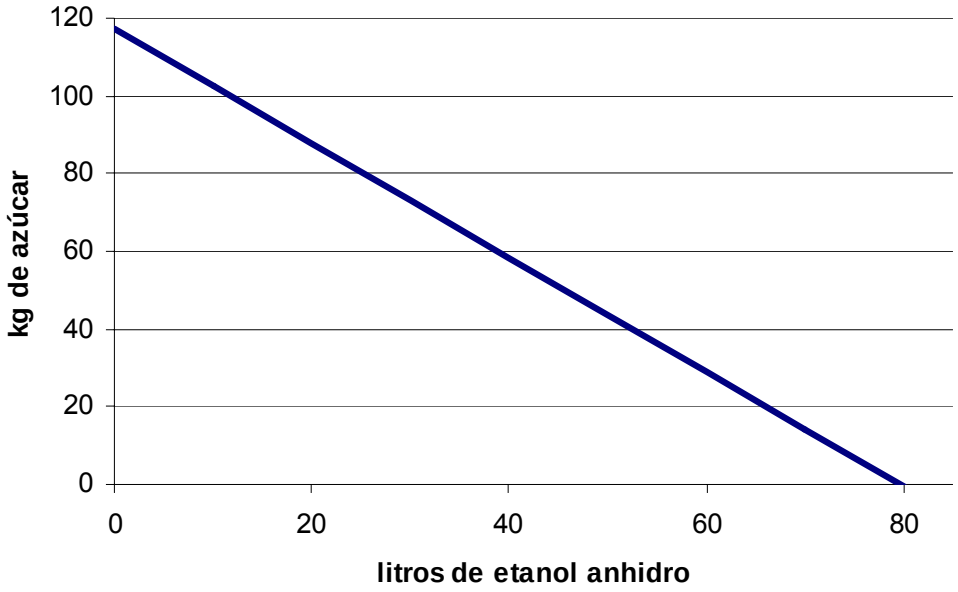


Figura 4.6. Producción relativa de etanol y azúcar, para las condiciones medias de los ingenios de México

4.1.3. Producción de etanol de jugo directo de caña

Para incrementar la producción de etanol, se desvía progresivamente más jugo de caña hacia la producción de etanol, hasta la situación en que no se produce ningún azúcar. Para condiciones así y considerando el contexto de los ingenios mexicanos, a partir de una tonelada de caña con 13 a 14% de sacarosa se estima obtener de 75 a 80 litros de alcohol anhidro, significando una recuperación de ART de la caña entre 82 y 85%. En ese caso se espera un consumo de vapor cerca de 10% inferior al consumo en la producción de azúcar, debiendo mantenerse el tratamiento térmico del jugo y el ajuste del nivel de concentración buscando mejorar las condiciones en la fermentación.

Evidentemente la producción de etanol directamente del jugo de la caña reduce la flexibilidad del ingenio en términos de producir diferentes productos y determinar según las condiciones de mercado, una composición de mayor rentabilidad. Por otro lado, la producción solamente de etanol reduce las inversiones significativamente, no siendo requerido cualquier equipo de la sección de cocimiento (tachos, turbinas de centrifugación, etc.), que pueden corresponder a 20% de las inversiones totales en un ingenio.

Las plantas agroindustriales operando dedicadas únicamente a la producción de etanol presentan como indicadores representativos los valores constantes de la Tabla 4.3, estimados con base en las condiciones observadas en los ingenios brasileños. Naturalmente que es posible esperar una variación en estos valores según cada contexto agroindustrial, en función

de las características de la materia prima y las especificidades del proceso adoptado, en particular las condiciones de tratamiento del jugo y fermentación.

Tabla 4.3. Insumos y productos en la producción de etanol directo a partir de caña

Insumos		
Caña de azúcar	1,000	kg
Fuel oil	7.4	kg
Electricidad (puede ser producida a partir del bagazo)	12.5	kWh
Agua tratada	5,600	litro
Ácido sulfúrico	0.050	kg
Urea	0.100	kg
Productos y subproductos		
Etanol anhidro	80	litro
Bagazo con 50% humedad (consumido en el ingenio)	264	kg
Vinazas	780 a 1248	litro
Cachaza	30	kg
Levadura	17.8	kg
CO_2 (producido en las cubas de fermentación)	60.7	kg

4.1.4. Producción de etanol de jugo directo de caña y de residuos celulósicos

Considerando las disponibilidades de bagazo excedente en los ingenios, como consecuencia de la racionalización energética en los procesos de producción y uso de vapor, bien como las disponibilidades de residuos de cosecha (puntas y hojas de caña), la posibilidad de utilizarse eses materiales lignocelulósicos de costo reducido como materia prima para producción de etanol despierta grande interés y podría con ventajas asociarse a producción convencional a partir de sustancias dulces de la caña. Sin embargo, aun que la utilización de esa rota productiva permita elevar dramáticamente la producción de etanol por unidad de materia prima procesada y potencialmente reducir bastante los costos, dependiendo de las inversiones incrementales, los procesos de conversión de celulosa están todavía en desarrollo.

Los materiales lignocelulósicos son compuestos de celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es formada por largas cadenas de glucosas, mientras la hemicelulosa es constituida por hexosas y pentosas. La lignina no contiene azucares y envuelve las celdas vegetales con una capa que dificulta romper la celulosa y hemicelulosa para producir soluciones fermentables. La proporción de cada componente varia con la especie vegetal y su edad, típicamente las gramíneas presentando menos lignina que las especies leñosas.

El principal reto en la producción de etanol a partir de biomasa lignocelulósica es el pretratamiento e hidrólisis de la materia prima, que pueden utilizar esencialmente tres tipos de procesos y sus variantes y combinaciones: hidrólisis ácida (con ácido diluido o concentrado), hidrólisis enzimática y procesos termoquímicos. El pretratamiento tiene como objetivo

desintegrar la matriz de carbohidratos de tal manera que la celulosa reduzca su grado de cristalinidad y aumente la celulosa amorfa, que es la más adecuada para el posterior ataque enzimático. Adicionalmente, la mayor parte de la hemicelulosa se hidroliza durante el pretratamiento y la lignina se libera o puede incluso descomponerse, en algunos casos con producción de compuestos perjudiciales al proceso fermentativo posterior. No obstante, caso separada , la lignina puede presentar valor comercial o servir como combustible.

En una etapa posterior, la celulosa liberada es típicamente sometida a hidrólisis enzimática con celulasas exógenas, lo cual hace que se obtenga una solución de azúcares fermentables que contiene principalmente glucosa, así como pentosas (xilosas) resultantes de la hidrólisis inicial de la hemicelulosa. Hay en estudio decenas de alternativas de proceso para pretratamiento e hidrólisis (Sun y Cheng, 2002). Como afirmado anteriormente, las glucosas pueden ser convertidas sin dificultades en etanol, pero las pentosas son todavía objeto de atención de los bioquímicos, que buscan desarrollar bacterias capaces de efectuar adecuadamente tal conversión.

A pesar del gran esfuerzo de instituciones públicas y privadas para desarrollar procesos eficientes, capaces de lograr a bajo costo una máxima conversión de los polisacáridos y baja degradación de los azucares resultantes, como glucosas y pentosas, todavía no se definieran procesos económicamente competitivos, esperándose en un horizonte de diez años su cabal perfeccionamiento y desarrollo de las tecnologías asociadas (Worldwatch Institute, 2006).

En la actualidad se considera representativa una eficiencia de conversión y recuperación de celulosa en 76%, que asociada a una conversión fermentativa de 75%, aumentaría la producción a 336 litros de etanol anhidro por tonelada de celulosa (Badger, 2002). En el bagazo seco los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina son respectivamente cerca de 47%, 25% y 20%, valores próximos a los observados para los residuos de cosecha. Por tonelada de bagazo con 50% de humedad, se puede producir a partir de la celulosa, 123 litros de etanol anhidro y a partir de la hemicelulosa, 63 litros de ese biocombustible (Rossel, 2005). Estos datos permiten ver la relevancia de lograr la conversión y fermentación de las pentosas.

En términos concretos, específicamente para bagazo, empleando ácido diluido y tratamientos térmicos, estudios hechos en una planta piloto en un ingenio azucarero en Brasil llegaron a una productividad de 109 litros por tonelada de bagazo, con perspectivas de alcanzar hasta 180 litros por tonelada, caso se consiga fermentar las pentosas. A eses niveles, la producción de etanol prácticamente dobla por unidad de área en cultivo, estimándose que llegue a más de 12 mil litros por hectárea, utilizando cerca de 1/3 del bagazo producido, pasible de ser obtenido sin afectar la operación normal de la planta, excedente del proceso de generación de vapor, más una cantidad similar de residuos de cosecha (Oliverio, 2005).

Como se tratan de procesos todavía en desarrollo y no son disponibles datos o parámetros de instalaciones reales, para los análisis posteriores, necesariamente simplificadas, serán considerados conservadoramente una productividad de 109 litros de etanol por tonelada de bagazo húmedo y una idéntica productividad en el procesamiento de los residuos de cosecha. Considerándose disponibilidades de bagazo y residuos para producir etanol como se mencionó en el párrafo anterior, cerca de 166 kg de material celulósico, resulta por tonelada de caña procesada, 18 litros adicionales de etanol, que sumados a producción de etanol de jugo de los colmos, significa un total de 98 litros de etanol anhidro.

4.2. Procesos utilizando maíz

El maíz amarillo, cuyos granos contienen entre 60 a 68% de almidón, es la materia prima mayormente utilizada en la producción de etanol en los Estados Unidos. Para obtener etanol a partir de almidón es necesario romper las cadenas de ese polisacárido para obtener jarabe de glucosa, el cual se puede convertir en etanol mediante las levaduras, conforme se analizó para la caña.

Aunque se pueden utilizar procesos ácidos, la ruta enzimática es preponderante. Inicialmente se hace una hidrólisis enzimática, empleando la alfa-amilasa obtenida de bacterias termorresistentes como *Bacillus licheniformis* o *B. amyloliquefaciens*, lo que la hace ideal para la primera etapa de la hidrólisis de las suspensiones de almidón que tienen que ser llevadas a temperaturas entre 90 -110º C, cuando ocurre el rompimiento de los gránulos de almidón, condición necesaria para el tratamiento enzimático. El contenido de enzimas utilizado depende de su grado de actividad, pero es usualmente cerca de 0.06 a 0.08%. Bajo ese nivel de temperatura ocurre también una esterilización de la materia prima, reduciendo la presencia de bacterias prejudiciales para la fermentación.

El producto de la etapa de licuefacción es una solución de almidón que contiene dextrinas (oligosacáridos compuestos por varias unidades de glucosa) y pequeñas cantidades de glucosa. El almidón licuado se somete entonces a sacarificación a menores temperaturas (60-70ºC) con glucoamilasa (0.06 a 0.12%) obtenida de *Aspergillus niger* o de especies de *Rhizopus*, la cual hidroliza las dextrinas hasta glucosa, como presenta la ecuación a seguir (Sánchez y Cardona, 2005).

$$\underset{\textit{almidón}}{(C_6H_{10}O_5)_n} \rightarrow \text{dextrinas} \rightarrow \underset{\textit{glucosa}}{n\ C_2H_{12}O_6} \qquad (5)$$

De cada 1 kg de almidón se pueden obtener teóricamente 1.11 kg de glucosa, lo que implica una relación estequiométrica de 9:10. Una vez obtenida la glucosa se realiza la fermentación por medio de la adición de levadura para la producción de etanol, como se muestra en la expresión (2) anterior. En condiciones teóricas, para cada kg de almidón podrían ser producidos 0.716 litros de etanol anhidro. Asumiendo un contenido de 66% de almidón en el maíz en grano seco, podrían teóricamente ser producidos hasta 416 litros de etanol por tonelada de maíz. Considerando las eficiencias de sacarificación, fermentación y destilación, respectivamente 95, 90 y 98%, llegase a 0.631 litros por kg de almidón o cerca de 400 litros de etanol por tonelada de maíz en condiciones reales.

En términos prácticos, el proceso empieza con la molienda del cereal, para reducirlo a un tamaño de partícula fina y extraer el almidón de los granos de maíz. Existen actualmente dos tipos de proceso en uso, húmedo y seco. El proceso en seco es preferida para producción de etanol por demandar menos equipos y menos energía, resultando costos comparativamente más bajos que el proceso húmedo.

En el proceso húmedo se obtiene del grano, además de almidón, fibra, gluten, germen y aceite, que son subproductos de alto valor. Los rendimientos de etanol pueden llegar a 403 litros por t de maíz. En el proceso en seco no se fracciona el grano en sus componentes y todos sus

nutrientes entran al proceso y son concentrados en un subproducto de destilación empleado para alimentación animal llamado granos secos de destilería (DDG, Dried Distillers Grains), cuyo valor de mercado puede compensar parcialmente los costos del proceso. Cuando los DDG se mezclan con solubles concentrados provenientes de la evaporación de las vinazas se obtienen los granos secos de destilería con solubles (DDGS). Los rendimientos de alcohol para el proceso en seco son de 395 a 405 litros por t de maíz (Gulati, 1996). Los esquemas simplificados para estos procesos son indicados en la Figura 4.7.

En el proceso en seco, el maíz es inicialmente limpiado de piedras y metales, pasando por molinos de martillo y siguiendo para los tanques de licuefacción continua, adonde se ajusta el pH a 6 y se mezcla con el condensado de los evaporadores y la enzima (alfa-amilasa), manteniéndose bajo calentamiento una temperatura de 88º C. En esa etapa se puede agregar urea para mejorar las condiciones de fermentación. En seguida a licuefacción, el material es calentado hasta 110º C por 20 minutos, enfriado a 60º C y pasa a etapa de sacarificación en tanques continuos, adonde recibe la enzima (glucoamilasa) y ácido sulfúrico para ajustar el pH para 4.4. El tiempo de residencia para sacarificación es de 6 horas. El mosto resultante es enfriado a 32º C y alimenta los fermentadores continuos en cascada (Continuously Stirred Reactor – CSTR), adonde cumple un tiempo de residencia de 46 horas. Modernamente, la sacarificación y fermentación ocuren juntas en el mismo reactor. La temperatura de fermentación es mantenida debajo de 34º C mediante la circulación del mosto en intercambiadores de calor. La concentración de etanol en la salida del proceso de fermentación es 12% en volumen (McAloon, 2000).

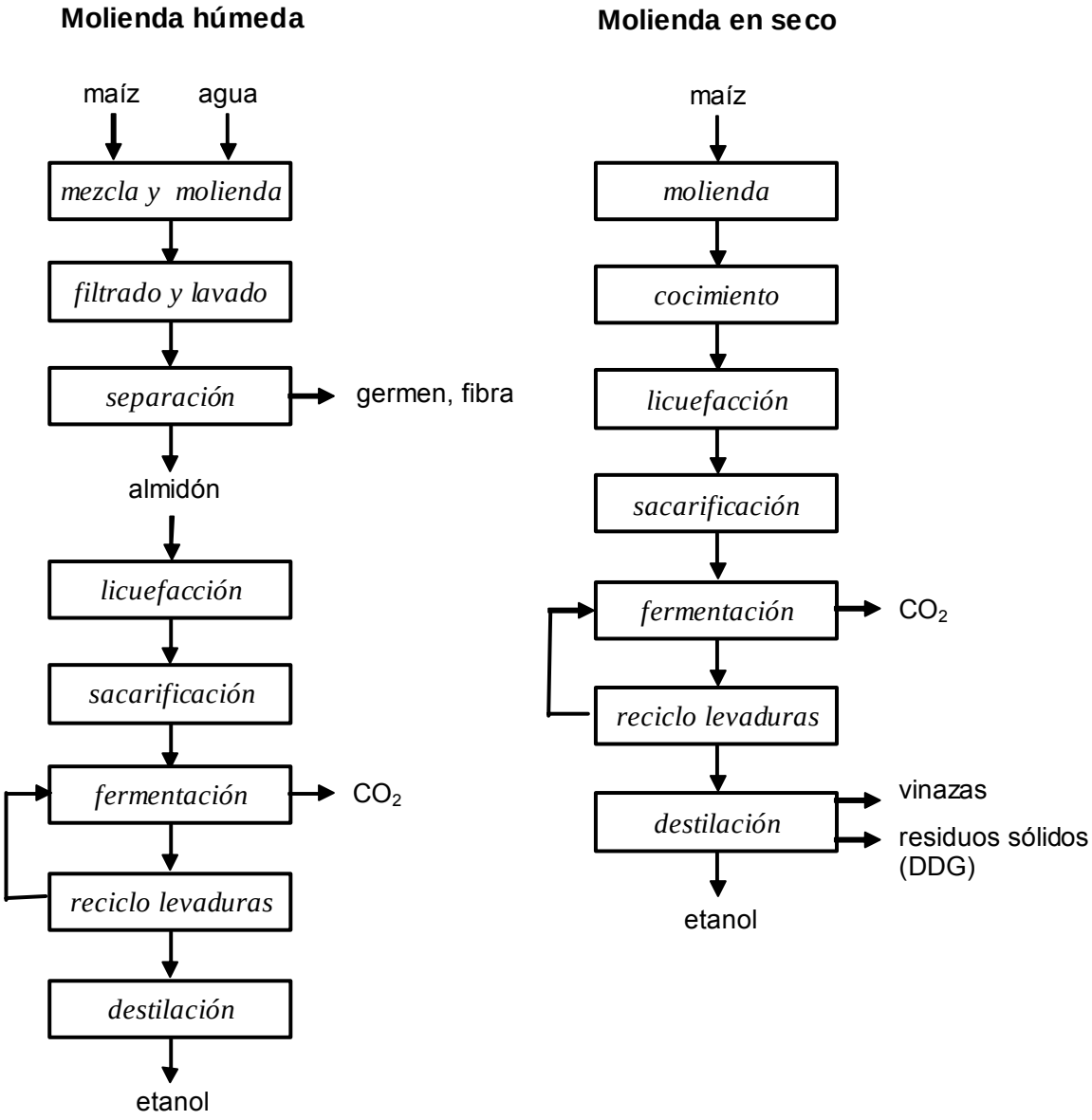


Figura 4.7. Procesos de fabricación de etanol de maíz

Un aspecto importante relacionado al empleo del maíz se refiere al consumo energético en la producción de etanol. Muchos estudios han sido efectuados sobre ese tema y aparentemente las estimaciones iniciales de que la demanda era superior a producción de energía dieron lugar a productividades energéticas positivas, aun que relativamente bajas. Las demandas representativas de energía eléctrica y térmica, en la vía seca, son respectivamente 0.21 kWh y 10.2 MJ por litro de etanol producido (Fundación Emisión, 2005). Usualmente se utiliza gas natural para el suministro de calor utilizado en la generación de vapor de proceso y el los secadores de DDG. En el caso de venderse ese subproducto húmedo, la demanda de combustible se reduce en 30%.

Como condición de referencia para los estudios posteriores de viabilidad se considera representativo la situación presentada en un estudio desarrollado específicamente para una planta productora de etanol a partir de maíz en los alrededores de Tulla de Allende, Hidalgo, utilizando la tecnología seca, para la cual se espera productividades de etanol y DDGS respectivamente de 398 litros y 321 kg por tonelada de maíz amarillo procesado (Fundación Emisión, 2005), conforme se presenta en la Figura 4.8.

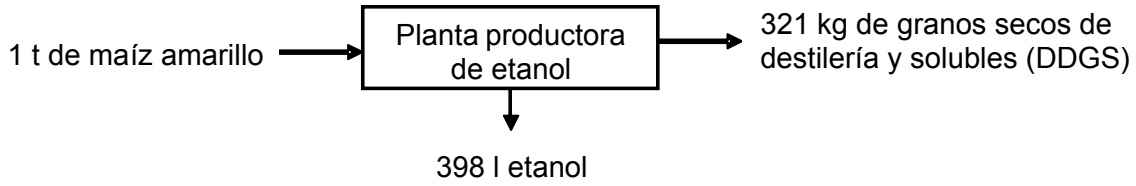


Figura 4.8. Flujos básicos en la producción de etanol a partir de maíz amarillo, procesamiento en seco

4.3. Proceso utilizando yuca

La yuca es una planta con raices llenas de almidon, originaria de Brasil y bastante cultivada en regiones tropicales da Africa y Asia. Además de su amplia utilización como alimento básico en la dieta humana y animal, en Tailandia y China la yuca es semi-industrializada para exportación y utilizada localmente para producir etanol potable. Así, por su atractivo contenido de almidón, entre 20 a 30% de las raíces, asociado a rusticidad de los cultivos, baja exigencia edafoclimática y posibilidad de producir al largo de casi todo el año, la yuca es frecuentemente considerada una materia prima de potencial interés para la fabricación de etanol combustible. De hecho, durante los años setenta, en la primera fase del programa brasileño de alcohol, se intentó promover el uso de mandioca y fueran construidas dos plantas productoras de etanol utilizando esa materia prima, sin cualquier éxito, principalmente debido al precio y discontinuidades en el suministro regular de raíces para la industria. En las presentes condiciones de Brasil la yuca sigue siendo un cultivo de reducido interés para producción de etanol. Sin embargo, en países asiáticos la yuca es frecuentemente considerada como una posible alternativa para producción de etanol, con proyectos en estudio o desarrollo en China y Tailandia (Howeler, 2003).

Actualmente, con la posible excepción de Tailandia, la obtención de etanol a partir de yuca todavía no es practicada de forma comercial y por tanto los datos sobre su procesamiento, como balances de masa y parámetros operativos son bastante escasos. Para el presente trabajo, se utilizó como referencia esencialmente un estudio realizado para evaluar as perspectivas del etanol en Tailandia, que aborda la utilización de esa materia prima (Trindade, 1985).

En la producción de etanol, las raíces son descascadas, lavadas y molidas, pasando luego a cocedores y después a tanques para sacarificación del almidón. Los procesos sucesivos son similares a la producción de etanol de maíz. Considerando factores productivos semejantes a los adoptados para el maíz, la productividad debería estar cerca de 170 litros por tonelada de raíz de yuca in natura procesada, con cerca de 25% de almidón. Evidentemente que contenidos más elevados de almidón permiten productividades más altas. Además de la vinaza, resultante

del proceso de destilación, no se identificaran co-productos de valor en ese proceso. Sin embargo, algunos autores citan la posibilidad de utilizarse los residuos fibrosos del procesamiento de yuca para etanol como complemento alimentar para animales (Leonel, 1999).

La demanda de energía térmica se estimó entre 26 a 31 MJ por litro de etanol producido, para una planta con capacidad de 150 m^3 por día, conforme el estudio para Tailandia (Trindade, 1985). En el mencionado estudio se consideró como alternativas para generación de calor el gas natural, carbón mineral (posiblemente lignito) y cáscaras de arroz. En la realidad tailandesa y para los escenarios evaluados, ese último biocombustible resulto económicamente más atractivo. La demanda de electricidad fue considerada atendida por producción propia.

Una posible alternativa, relevante en Tailandia, para la utilización de la yuca en plantas de etanol es mediante el procesamiento de "chips" de esas raíces, un producto pre-procesado que contiene menos humedad y alrededor de 75% de almidón, permitiendo almacenamiento. Se estima que la productividad de esa materia prima en procesos combinados de sacarificación y fermentación, seria de 380 litros de etanol por tonelada de "chips" de yuca, generando mostos fermentables con 9,5% de etanol en volumen (Keawsompong, 2003,).

Con relación a yuca en México podría ser citado aún el Proyecto Yucalcol, elaborado para ser implementado en módulos agroindustriales en diversas regiones mexicanas, planteando utilizar los productos de ese cultivo en la fabricación de etanol. Confirmando la ausencia de tradición de cultivo de yuca en Mexico, en la documentación del proyecto no se identificaran datos o informaciones más específicas sobre el proceso que se pretende eventualmente utilizar (Gómez Fuster, 1998).

4.4. Procesos utilizando sorgo y remolacha

Además de la caña de azúcar, otros cultivos sacáridos pueden ser objeto de evaluación para producción de etanol en la realidad mexicana, como el sorgo dulce y la remolacha. A continuación se comenta de modo sintético los procesos de fabricación de etanol para estos casos.

La utilización del sorgo dulce para la fabricación de etanol presenta interés debido principalmente a la posibilidad de integración con la agroindustria cañera, que podría alargar la zafra empleando un cultivo relativamente más rústico que la caña y que presenta diversas similitudes en cuanto al procesamiento. Los colmos de sorgo dulce pueden ser molidos en los trapiches, produciendo un jugo azucarado, con contenido de sacarosa inferior al típico jugo de caña, pero que puede ser sometido a procesamiento similar, para producir jarabes o etanol.

Tomando en cuenta el contenido de azúcares y la baja aptitud del sorgo para producir azúcar sólido, se considera que esa materia prima deba ser procesada mediante plantas autónomas para producción de etanol a partir de jugo directo de caña, como se presentó anteriormente, estimándose para unidades con 150 metros cúbicos diarios de capacidad una productividad de 35 litros de etanol por tonelada de sorgo dulce procesado (Trindade, 1985). Estudios más recientes hechos en India estiman 40 litros por tonelada para plantas similares (ICRISAT, 2004).

Se admite que los indicadores de demanda de insumos y energía de proceso deben ser análogos a los presentados para caña. Con relación a co-productos, el sorgo dulce es rico en fibras y produce un bagazo con propiedades similares al bagazo de caña, con aplicaciones parecidas para la generación de energía térmica y uso como forraje en la alimentación animal.

Además de las cuestiones agronómicas citadas en el capítulo anterior, un problema particular en el procesamiento industrial del sorgo dulce es su tendencia a rápidamente degradar, luego de cortado, imponiendo una adecuada gestión de la cosecha y del ritmo de procesamiento, además de otras medidas preventivas que pueden ser adoptadas (Anderson, 2002). No se encontró información de plantas comerciales de producción de etanol operando a partir de sorgo dulce, pero hay una razonable experiencia en Estados Unidos en la producción de jarabes de sorgo dulce y extensa literatura sobre estudios y proyectos en ese sentido en países africanos y asiáticos, particularmente India y China (Nan, Best y Carvalho, 1994).

Para la remolacha, el proceso de producción de etanol empieza con el lavado y troceado fino de las raíces, que son reducidas a fracciones de sección triangular y 3 mm de espesor, llamadas cosetas. Las cosetas siguen para un difusor, adonde en medio a agua caliente a 70º C lentamente se mueven las fracciones de remolacha y progresivamente se enriquece la solución con los azucares presentes en la raíz. Luego de extraerse los azucares, los residuos o pulpa son secados y el jugo, con cerca de 16º Brix y una pureza en sacarosa de 85% (InfoAgro, 2006), prosigue su tratamiento en un proceso análogo al adoptado en las destilerías de jugo de caña, pasando sucesivamente por los procesos de pasteurización, fermentación, destilación y rectificación .

En promedio, una tonelada de raíces de remolacha produce entre 80 y 100 litros de etanol. Asumiendo una concentración de azucares totales de 19% en las raíces (varía típicamente entre 15 a 20%), se estima una producción de etanol de 86 litros por tonelada de raíces, resultando aún 51 kg de torta fibrosa que puede ser utilizada como alimento animal (El Sayed et al., 2005). En Francia algunas plantas productoras de azúcar de remolacha están produciendo etanol, aprovechando melazas residuales de manera semejante a los ingenios azucareros que operan destilerías integradas (TEREOS, 2006).

Particularmente para las condiciones mexicanas, de acuerdo con el escenario sugerido para la utilización de la remolacha, se consideró que la demanda energética para su procesamiento y fabricación de etanol, cerca de 6.7 MJ y 0.084 kWh respectivamente de energía térmica y electricidad por litro de etanol, sería suministrada gratuitamente a partir de los excedentes de una planta geotérmica existente en la región adonde se plantea eventualmente promover ese cultivo.

4.5. Visión general

Este capítulo exploró básicamente los procesos de fabricación de etanol utilizando cinco diferentes fuentes de materia prima: caña de azúcar, maíz, yuca, sorgo y remolacha, destacándose las dos primeras como las tecnologías más disponibles y conocidas. En la tabla siguiente se presenta un resumen de los parámetros más importantes de los diferentes procesos evaluados.

Además de la productividad en etanol, esencialmente dependiente de la concentración de azúcar o almidón en la materia prima y en términos netos no muy diferente entre los casos presentados, los requerimientos de aporte de energía al proceso pueden variar de forma importante, como resultado de la disponibilidad de residuos o coproductos de valor económico (como alimento animal o energéticos), un factor relevante para diferenciar los procesos, como ya se comentó para las materias primas. Los procesos empleando caña o sorgo son considerados autosuficientes debido a disponibilidad de bagazo, que atiende las demandas de electricidad y calor, mientras para los demás se requiere aporte de energías exógenas para desarrollar el proceso. En el caso de la yuca solo se estimó la necesidad de calor de proceso, ya que la se considera la electricidad producida mediante un sistema de cogeneración (con gas natural) y para la remolacha se consideró el acceso a una fuente geotérmica de energía.

Como comentario final a los procesos de fabricación de etanol, es notable el esfuerzo de desarrollo de nuevas tecnologías en ese campo, principalmente con recurso a bioquímica y la genética, procurando incrementar desempeño de procesos y valorizar materias primas de bajo costo, como por ejemplo a través de hidrólisis de celulosa, que a mediano plazo podrán presentar perspectivas de real aplicación, con fuertes impactos en las productividades y en el precio final del etanol (Macedo, 2005).

Tabla 4.4. Síntesis de los procesos de fabricación de etanol

materia prima	proceso	productividad (litro etanol/ t)	consumo energético	otros productos
caña de azúcar	miel pobre (C)	8.8	autosuficiente	112 kg azúcar
	miel rica (B)	17.1	autosuficiente	92 kg azúcar
	jugo directo	80	autosuficiente	menos relevante
	jugo directo + hidrólisis de residuos lignocelulósicos	(80+18) 98	autosuficiente	menos relevante
maíz	vía seca	398	electr.: 0.21 kWh/litro comb.: 10.2 MJ/litro	321 kg granos secos de de destilería y solubles DDGS
sorgo	similar a caña	35	autosuficiente	menos relevante
yuca	similar al maíz	170	comb.: 26 a 31 MJ/litro	menos relevante
remolacha	similar a caña	86	electr.: 0.08 kWh/litro comb.: 6.7 MJ/litro	51 kg de residuos

5. Costos de producción de etanol en México

Conocer los costos de producción es esencial para evaluar la factibilidad económica de un combustible, pero siempre es una tarea compleja, sea por gama de escenarios, sea por los intereses en preservar informaciones de carácter comercial, sea aún por la propia dinámica de los procesos económicos y de formación de costos. En el caso del etanol, se suman a los factores anteriores la reducida experiencia mexicana en programas de gran amplitud para la producción de etanol. Sin embargo, utilizando estimaciones efectuadas en el propio contexto nacional o en condiciones similares es posible determinar los costos asociados a materia prima y a su procesamiento, como se presenta a continuación.

En todas esas evaluaciones se adoptó como promedio para 2005 y para los primeros meses de 2006, una tasa de cambio respectivamente de 10.89 y 10.70 pesos mexicanos por dólar (CEFP, 2006).

5.1. Costos de la materia prima

Los costos para cultivar y transportar la materia prima, como la caña y el maíz, son preponderantes en la formación de los costos totales de producción de etanol. Para los contextos y las materias primas mencionadas como las más prometedoras, se presenta a continuación los costos estimados para su obtención, que serán empleados adelante para estimar el costo del etanol. Siempre que posible los costos serán presentados inicialmente como costos a factores de producción, o sea costos para los productores agrícolas, y luego como precios de mercado, correspondientes a los costos para las plantas productoras de etanol.

5.1.1. Costos para caña de azúcar y melazas

En términos de costo para producción agrícola, un estudioso de la agroindustria cañera mexicana estimó en mediados de 2005 que, en condiciones típicas, para cultivo temporal la productividad agrícola sea de 68 t/ha y presente un costo de producción de 257.49 $/t, mientras bajo riego se alcance 95 t/ha y un costo de 286.71 $/t, correspondientes respectivamente a 23.64 y 26.32 US$/t. A partir de estos costos, se determinó que el ingreso neto de los productores de caña de México por hectarea estaría entre $10,200.00 y $14,250.00, respectivamente para cultivo temporal o bajo riego (Poy, 2005A).

En el marco del presente estudio Lazcano (2006) llegó a valores un poco más bajos evaluando en detalle contextos de interés para la producción de etanol en México (Lazcano, 2006), conforme se presenta en la tabla siguiente, que resultarian entre 21.71 a 19.35 US$/t respectivamente para temporal y riego. Obsérvese que en ese caso los costos bajo riego fueron inferiores, al revés del estudio anterior. No se consideró el costo de la tierra.

Tabla 5.1. Costos de producción de caña en dos regiones cañeras de México

Componente del costo	Caña de temporal en Huastecas y Veracruz Centro ($/t)	Caña de riego en Huastecas y Balsas ($/t)
Costo agrícola (cultivo)	103. 47	92.39
Cosecha y transporte	133.00	118.35
Costo total	236.47	210.74

Como una conclusión preliminar relevante, resulta que los costos de producción de caña de azúcar de temporal pueden ser considerados alrededor de 20 a 23 US$/t. Con relación a desagregación de eses costos, de acuerdo a un análisis detallado realizado en un ingenio mexicano ubicado en la media nacional y cosechando caña proveniente de una zona de temporal, fue posible establecer para caña planta (primero corte) y caña soca (cosechas sucesivas al primero corte) las distribuciones de costos presentadas en la Tabla 5.2. (Poy, 2005A). En ese estudio se indica para la caña planta y la caña soca productividades de 80 t/ha y 45 t/ha, respectivamente. No se consideró el costo de aseguramiento del IMSS.

Resultó evidenciado en la formación de los costos el importante impacto económico de los gastos de cosecha y agroinsumos, respectivamente el 64.4 y 76.6%, siendo por tanto los montos prioritarios para buscar economias. En ese mismo trabajo, se considera que los gastos de reparacion de caminos, contratacion de cortadores, corte, alza, flete, transportacion, personal y gastos administrativos son susceptibles de reducir en hasta 31%. Cuando esto efectivamente ocurra, se podría llegar a costos para la caña alrededor de 15 US$/t, puesta en el ingenio, de toda manera costos todavía elevados frente a los praticados en Brasil, Tailandia y Australia.

Tabla 5.2. Composición de costos de producción de caña en una zona de temporal

Componente del costo agrícola	Caña planta	Caña soca
Preparación	7.6%	no se aplica
Siembra	9.2%	no se aplica
Labores culturales	6.0%	16.8%
Insumos	32.7%	27.0%
Cosecha	31.7%	49.6%
Intereses	12.8%	6.6%

La adopción de sistemas de riego en regiones más secas naturalmente permite elevar la productividad, pero las inversiones son importantes. Un estudio hecho para Tamaulipas apunta los costos unitarios indicados en la Tabla 5.3, que asociados a distritos de riego de 15,000 ha, con expectativas de producir 1.1 millones de t de caña y atender la demanda de destilerías para

500 mil litros diarios de etanol, corresponde a inversiones de US$ 78 millones, suma superior a los US$ 50 millones estimados para implementar la destilería (ANUR, 2005). Posiblemente los cultivos de temporal sean alternativas mejores, bajo costos más aceptables y no disputando con otros cultivos la humedad artificial. Solamente en condiciones muy particulares la producción bionergética podrá obtener prioridad en el uso de un recurso limitado como es el agua, frente a otros los objetivos típicos de la agricultura de riego, mayormente empleada para productos alimentarios.

Tabla 5.3. Inversiones específicas para riego de caña de azúcar

Item	costo unitario (US$/ha)
Infraestructura de riego	3,500
Riego por goteo	1,200
Drenaje parcelario (en mitad de la superficie)	1,000

Más allá de los costos para los productores, es el precio pagado por los ingenios que efectivamente representa el costo de la caña para la fines agroindustriales, pues prácticamente en toda la agroindustria cañera de México la materia prima es comprada de productores independientes. Esos productores reciben por su producto de acuerdo a una fórmula conocida como KARBE, que determina la cantidad de azúcar recuperable por tonelada de caña entregue, en función de parámetros de calidad de la caña y del desempeño agroindustrial. En esa fórmula se adopta el contenido de sacarosa ($Pol_{caña}$) como la principal variable de calidad de la caña y se toma como condiciones adicionales de referencia un contenido de fibra de 14.21% y una pureza del jugo mezclado de 81.23%. Existen disposiciones para descuentos y castigos, pero no son aplicados de forma individualizada por productor, resultando en devoluciones a la masa común de recursos correspondientes al sector cañero.

Es adoptado un promedio por zafra y por ingenio para los parámetros y la remuneración de los cañeros corresponde a 57% del precio del azúcar cobrado a los ingenios, resultante de las distintas condiciones de comercialización. Cada año se define el precio KARBE y mediante un mecanismo de pre-liquidaciones (80% del valor final estimado) y una liquidación final, se pagan los productores de caña. El precio KARBE puede ser adoptado como costo de la materia prima, bajo el concepto de costo de oportunidad, para una planta productora de etanol de caña de azúcar.

Para 2005, el precio del azúcar referente para el pago de la caña a los productores fue $ 5,759.97 por tonelada. Como el contenido de sacarosa estuve entre 10.75% a 15.36%, resultó un rendimiento KARBE en el rango 90 a 127 kg/t; considerando el reparto legal de 57% a los productores, la caña fue pagada como mínimo a 292.47 $/t (28.67 US$/t) y como máximo a 417.90 $/t (40.97 US$/t), con un promedio nacional de 33 US$/t (CNIAA, 2006). Aparentemente, frente a los costos estimados anteriormente, la actividad cañera en México presenta buena remuneración, con un margen bruto de aproximadamente 10 a 13 US$/t, valor que puede incrementarse al implementar las medidas de racionalización de costos mencionadas. Este precio ha estado prácticamente estable en los últimos diez años (Lazcano,

2006). De hecho, como se presenta en la Figura 5.1, poco ha variado los precios pagados a los productores, en pesos mexicanos de 1994, a lo largo de las últimas décadas.

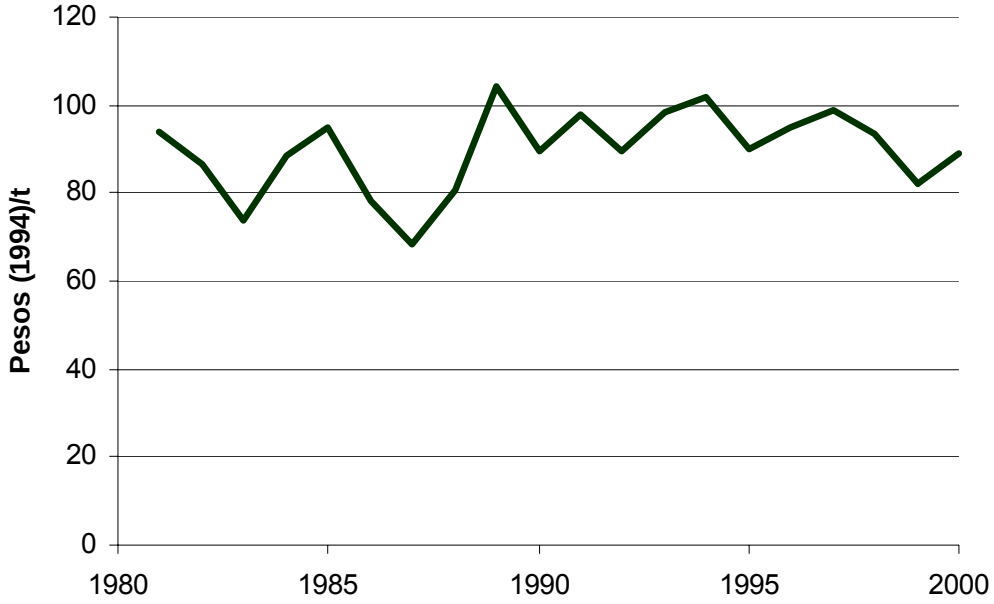


Figura 5.1. Evolución de los precios de la caña al productor

Con relación a las melazas (informaciones de Lazcano, 2006), en términos generales la industria azucarera en México no cuenta con capacidad instalada de almacenaje para el líquido. Así, las ventas son programadas desde inicio de zafra, bajo precios conocidos y pactados, por lo que se calcula la producción de miel final para la venta directa, que se realiza en periodos que desahoguen la problemática de capacidad de almacenaje. El precio de miel guarda un comportamiento con el precio del alcohol, el precio del maíz y del sorgo forrajero, porque es considerado un sustituto. Los principales destinos de las melazas producidas en los ingenios mexicanos son la agropecuaria, la producción de bebidas y la exportación. Como se indicó anteriormente, en 2004 la producción de melazas en los ingenios mexicanos fue de 1,668 miles de toneladas, de los cuales 26% fueran exportados para los Estados Unidos (F.O.Licht, 2006). Por otro lado, México importa cantidades crecientes de jarabe de maíz de Estados Unidos, en 2005 fueran 106 miles de toneladas, cantidad que puede doblar en 2006 (ERS/USDA, 2006).

Los precios internacionales de la miel final, se incrementaron para finales del año pasado y se han mantenido estables durante 2006. A finales de 2005, el mercado enfrentó escasez de alcohol y la demanda de miel para la producción del mismo creció, lo que impulsó los precios al alza. Durante 2005, en septiembre los precios internacionales estaban alrededor de 45 US$/t, para octubre en 65 US$/t, en diciembre 85 US$/t, y en enero de 2006 alrededor de 140 US$/t. Actualmente el precio está estacionado entre los 95 US$/t y 100 US$/t.

Para la producción de etanol de residuos celulósicos, no se consideró un precio para el bagazo, asumido como un residuo disponible en la planta y correspondiente a mitad de los residuos a

procesar. Para la fracción de las puntas y hojas de caña transportadas hacia el ingenio para procesamiento, evaluaciones en ingenios de Brasil establecieran un costo de recolección de 2 US$/t (Macedo et al., 2001). Como esa fracción representa la mitad de la materia prima utilizada en el escenario adoptado, resultaría un costo promedio de 1 US$/t para el total de los residuos celulósicos, considerado despreciable.

5.1.2. Costos para maíz grano

Considerando las condiciones de Sinaloa, para el ciclo productivo 2005-2006. se estimó un costo agrícola total, incluyendo flete y cuota de agua para riego, de $12,827.00 por hectárea, que asociado a una productividad de 10 toneladas por hectarea, resulta un costo de producción de 1,282.70 $/t, correspondientes a 119.87 US$/t. En el caso que se incluya el costo de la tierra, cotizada a $5,000.00 por año, ese costo de producción pasaría a 1,783.00 $/t o 166.92 US$/t (Lazcano, 2006).

De forma análoga a la caña de azúcar, el costo del maíz como materia prima para producción de etanol para una agroindustria procesadora debería ser tomado como el precio pagado a los produtores de ese grano. Para condiciones evaluadas en Sinaloa, incluyendo el subsidio de Gobierno Federal ($400.00 por tonelada), resulta um precio final de $1,850,00, o sea 172,90 US$/t.

Vale observar que en el mercado americano los altos precios del maíz pagados a los productores han oscilado entre 84 hasta 96 US$/t en los últimos cinco años (FSA/USDA, 2006), indicando la necesidad de entender mejor la formación de los precios en el contexto mexicano y la eventual oportunidad de promover incrementos de productividad y reducciones de costos y precios[3]. Se considera que los productores mexicanos perciben ganancias relativamente reducidas frente a este cuadro de precios, inclusive “si se carga renta de tierra, a un rendimiento de 10 t/ha de grano, prácticamente no hay utilidad” (Lazcano, 2006), sin embargo en el proyecto de producción de etanol a partir de maíz diseñado para Tula de Allende, se consideró factible la utilización de maíz importado de Nebraska, evaluándose que el flete costaría cerca de 46 US$/t y resultaría un costo final del maíz de 127.50 US$/t, aproximadamente 26% inferior al precio corrientemente pagado a los productores mexicanos (Fundación Emisión, 2005). Esa hipótesis implicaría en empeorar aun más los pobres indicadores de eficiencia energética de la producción de etanol a partir de maíz en Estados Unidos. De toda manera, en este contexto, la significativa brecha entre los precios de mercado y los costos potenciales debe ser considerada como los dos puntos más importantes para discutirse las posibilidades de producir sustentablemente etanol a partir de cultivos agroenergéticos en Mexico.

Particularmente para el maíz en la producción de etanol debe ser considerada la producción simultánea de los granos de destilería, cerca de 321 kg/t de maíz procesado, que puede ser comercializado a 90 US$/t por tonelada (precio en marzo de 2006, producto seco con 10% de humedad, un contenido de proteína cruda de 30.7% y de grasa del 10.9%) (Lazcano, 2006). Computándose la venta del DDGS, resulta un descuento de US$ 28.89 por tonelada de maíz

[3] Es fundamental observar que los precios de los productos agrícolas en los EUA y particularmente el maíz, están bastante distorsionados frente a los costos reales por políticas de soporte y elevados subsidios.

procesado, significando un costo neto del maíz en el etanol entre 0.346 a 0.361 US$ por litro, respectivamente para los precios tomados a nivel de los costos (inclusive el costo de la tierra) y el precio pagado, con subsidios, a los productores.

El precio adoptado para el DDG es evidentemente relevante y será mejor explorado en los estudios de sensibilidad. En los últimos meses hay una gran volatilidad en ese mercado, llegando a alcanzar en algunos estados americanos más de 140 US$/t, pero la sustentada expansión de la producción de etanol de maíz en EUA señaliza posibles excedentes de producción y una reducción de precios a mediano o largo plazo. Un punto importante es la limitada capacidad de absorción de ese producto en la pecuaria americana y la necesidad de los productores americanos de etanol exportarlo a otros mercados, como Europa (Hurt, 2006).

5.1.3. Costos para otras materias primas

Para las demás materias primas consideradas de interés potencial (sorgo dulce, yuca y remolacha) la limitada área cultivada y reducida experiencia agronómica, como ya se comentó, impone estimaciones menos fundamentadas. Basándose en estudios desarrollados en contextos similares, se determinaran costos de referencia para estos productos, como se resumen en la Tabla 5.4.

Los valores de costos para el sorgo dulce se estimaron de datos de costos de producción en Estados Unidos (Rains et al., 2005), sustituyendo los costos de cosecha y transporte por datos mexicanos (Poy, 2005), resultando 20.85 US$/t. Los costos para yuca fueran considerados similares a los determinados para Brasil, 51.00 US$/t, según reciente estudio sobre el empleo de esa raíz para la producción de etanol (ABAM, 2006). Vale observar que en la región colombiana de Magdalena, considerando producción para fines industriales, fueran estimados costos bastante bajos para la yuca, alrededor de 20.80 US$/t (Quintero, 2004), sin embargo debido a reducida experiencia mexicana con ese cultivo, los valores constatados en Brasil parecen más adecuados.

Tabla 5.4. Costos estimados de producción para las biomasas no convencionales de interés para la producción de etanol en México

Cultivo	Costo de producción US$/ t
Sorgo dulce	20.85
Yuca	51.00
Remolacha azucarera	35.60

Los valores de costos de producción de la remolacha consideraran condiciones similares a la región de interés, ya que el Valle Imperial de California es vecino inmediato del Valle de Mexicali. Para ese cultivo, tomando las variedades Phoenix y Beta 4430, los costos de agroquímicos; semilla, y cosecha son los del Valle Imperial; los de labores mecanizadas de preparación de tierras, cultivos, aplicación de insumos, transporte, agua, mano de obra, seguro

e intereses, son según las cuotas y tarifas de la región (Lazcano, 2006) y asumiendo una productividad de 51 t/ha, se llega a 35.60 US$/t. No se consideraran renta de tierras que se cotiza en $ 2,500 anuales por hectárea. Es interesante observar que eses costos resultaran similares a los presentados en un reciente estudio para Tasmania, Australia (RIRDC, 2005).

Cabe destacar que en estos casos se trata de tener referencias para una evaluación más exploratoria, ya que frente a expectivas de efectiva viabilidad deberán ser efectuados estudios complementares en mayor detalle. De toda manera, los próximos estudios de sensibilidad a los costos permitirán evaluar mejor la importancia de cada componente de costo considerado. Para todos estos cultivos, se presento en el Capítulo 4 de ese informe una evaluación preliminar de los costos directos de la materia prima en el etanol producido. A continuación, a esos costos serán agregados los costos de procesamiento para las diferentes tecnologias.de interés, como los costos de operación, inversion y el efecto de los subprodutos, permitiendo estimar el costo final del etanol.

5.2. Costos de procesamiento

Para las tecnologías de producción de etanol consideradas más factibles y utilizando las diferentes alternativas de materia prima introducidas en el Capítulo 4, se presenta a continuación las evaluaciones de los costos de procesamiento correspondientes. A partir de la materia prima colocada en la unidad agroindustrial, esos costos pueden ser subdivididos en costos variables, que dependen del volumen de etanol producido, como mano de obra para los ciclos de zafra, materiales y productos químicos, energía eléctrica, combustibles, etc. y costos fijos, referentes a las inversiones, tasas y reparación y otros rubros, que no dependen del volumen de etanol producido.

5.2.1. Módulos industriales e inversiones

Buscando estimar los costos de forma representativa, para cada materia prima y tecnología se adoptó un módulo industrial, correspondiendo siempre que posible a unidades productivas reales o diseñadas en detalle. Naturalmente que eses costos pueden variar ampliamente en función de las condiciones del proyecto, como por ejemplo uso de materiales más resistentes a corrosión, adopción de sistemas de automatización y control más complejos, sistemas de tratamiento de efluentes, etc.

La Tabla 5.5 presenta las características principales para los módulos industriales empleando caña de azúcar en las diferentes posibilidades. Estos módulos fueran concebidos basándose en la experiencia brasileña para la destilería autónoma (Oliverio, 2006) y guatemalteca para las destilerías anexas, adoptándose en ese último caso las inversiones estimadas en plantas productoras de etanol implantadas recientemente en Guatemala junto al ingenio azucareros, utilizando equipos producidos en México (CEPAL, 2006). Queda confirmada a existencia de economía de escala en las destilerías de etanol, resultando para capacidades más elevadas inversiones unitarias más reducidas. Para las destilerías anexas no fueran consideradas las inversiones en el ingenio, dedicadas esencialmente a fabricación de azúcar. Los costos para la hidrólisis de residuos celulósicos serán comentados adelante.

Tabla 5.5. Módulos productivos para fabricación de etanol de caña de azúcar

proceso	módulo industrial
miel pobre	Destilería anexa con 150 m^3/día de capacidad, inversiones de 15 millones de dólares, operando 210 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, anualmente utilizando miel C (propio o comprado de otros ingenios) resultante del procesamiento de 3.08 millones de toneladas de caña y produciendo 27,090 m^3 de etanol anhidro. Dispone de servicios auxiliares (electricidad y vapor generados a partir de bagazo en el ingenio asociado)
miel rica	Destilería anexa con 150 m^3/día de capacidad, inversiones de 15 millones de dólares, operando 210 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, anualmente utilizando miel B (propio o comprado de otros ingenios) resultante del procesamiento de 1.58 millones de toneladas de caña y produciendo 27,090 m^3 de etanol anhidro. Dispone de servicios auxiliares (electricidad y vapor generados a partir de bagazo en el ingenio asociado)
jugo directo	Destilaría autónoma con 450 m^3/día de capacidad, inversiones industriales de 50 millones de dólares, operando 210 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, procesando por zafra 1 millón de t de caña y produciendo 80,000 m^3 de etanol anhidro. Produce electricidad y vapor a partir de 250 mil t de bagazo producido por zafra, sin necesitar de aportes energéticos externos.
jugo directo y hidrólisis de bagazo y residuos	Destilaría autónoma con 450 m^3/día de capacidad, incorporando una planta para hidrolizar aprox. 923 t de bagazo excedente y residuos de cosecha, con capacidad adicional de 100 m^3/día y inversiones industriales totales de 158 millones de dólares, operando 210 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, procesando por zafra 1 millón de t de caña y produciendo 98,000 m^3 de etanol anhidro. Produce electricidad y vapor a partir de 250 mil t de bagazo producido por zafra, sin necesitar de aportes energéticos externos.

La extensa experiencia brasileña en la producción de estos equipos permite estimaciones de precios bastante confiables, típicamente en el rango de US$ 5,000 por tonelada de caña procesada por día, para azúcar y etanol. Estudios recientes e independientes sobre costos de ingenios alcoholeros en Brasil apuntan inversiones bastante similares a la estimación presentada en la tabla anterior (CGEE, 2006 y Assis, 2006). Actualmente las destilarías brasileñas son típicamente diseñadas para procesar cerca de 2 millones de t de caña por año, o sea, el doble del modulo productivo adoptado para jugo directo de caña, pero se consideró más razonable proponer capacidades de procesamiento similares a mayores plantas azucareras en operación en México, como se citó en el Capítulo 2 del presente informe. Cerca de 10% de estos costos corresponden a obras civiles, el restante a equipos y máquinas (Terciote, 2006).

En línea con las estimaciones conservadoras de productividad presentadas en el capítulo anterior, la estimación del costo adicional para la planta para tratamiento e hidrólisis de bagazo y residuos de cosecha consideró el “near term base case” sugerida por estudios de la Agencia Internacional de Energía para esa tecnología, parametrizados por unidad de producción diaria de etanol (IEA/EET, 2005). Según estos estudios, para una planta las inversiones previstas en ese caso son de 234 millones de dólares, para una capacidad de

procesamiento de 2 millones de toneladas por día, que resulta una inversión de 108 millones de dólares para la unidad adicional a la destilería autónoma, no considerando en ese caso cualquier efecto de escala. Obsérvese que por unidad de etanol producida, esta tecnología presenta costos casi 10 veces más elevados comparativamente a tecnología convencional, mediante jugo directo de la caña.

Para el maíz como materia prima, se tomaran los datos de un estudio detallado para la realidad mexicana, contemplando una unidad productora de etanol en Tulla de Allende, Hidalgo, utilizando procesamiento en seco para producir 500 miles litros diarios de etanol. Para una planta de ese tamaño se determinó un costo unitario de 122 dólares por litro de capacidad diaria de producción, resultando la inversión total estimada de 61 millones de dólares (Fundación Emisión, 2005). Esa inversión está en el rango de las inversiones típicas en plantas americanas para producción de etanol de maíz por proceso en seco, que para una unidad de 50 millones de galones anuales se prevé una inversión de 80 millones de dólares, que implican en un costo unitario de aproximadamente 127 dólares por litro diario de etanol producido (Yancey, 2006). Las principales características de esa planta están indicadas en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Módulo productivo para fabricación de etanol de maíz,

proceso	**módulo industrial**
vía seca	Destilaría autónoma con 500 m^3/día de capacidad, inversiones industriales de 60 millones de dólares, operando 350 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, procesando por zafra 378 mil t de maíz y produciendo 150,500 m^3 de etanol anhidro y 121.4 mil t de granos de destilería con 10% de humedad. Como servicios auxiliares son requeridos 31,605 MWh de electricidad y 1,580 TJ de energía térmica a partir de gas natural.

Como se mencionó en los tópicos anteriores, la evaluación de los módulos productivos para las alternativas no convencionales (sorgo, yuca y remolacha) resultó menos fundamentada en experiencias concretas y se basó esencialmente en semejanzas de proceso con materias primas conocidas y en proyectos conceptuales concebidos para otros países. Para todos estos casos se adoptó un módulo de misma dimensión, similar al módulo más pequeño estudiado para la caña, variando naturalmente la cantidad de biomasa procesada y utilizando los parámetros presentados en el capítulo anterior. Para el sorgo, la configuración básica de la planta es similar a sugerida para Tailandia. (Trindade, 1985). Para la yuca, se definió una configuración de la misma capacidad, ajustándose los valores de modo de mantener la proporcionalidad entre los costos por procesos con sacáridos y almidones. Para la remolacha, se adoptó el balance de masa y los indicadores de demanda energética de la literatura (El Sayed et al., 2005). Los datos para esos módulos constan de la Tabla 5.7.

En la Tabla 5.8 se sintetizan las inversiones consideradas representativas para los módulos industriales presentados anteriormente. Obsérvese que para las tecnologías asociadas a caña de azúcar los costos no varían de modo relevante, con la comprensible excepción del caso de hidrólisis, bastante elevado por ser una tecnología todavía no comercial. En el caso de considerar solamente la hidrólisis, el costo unitario de etanol situase en 1,080 US$/litro diario de etanol producido. No es posible hacer una comparación directa ente los costos para los

diferentes procesos y los casos referentes a la caña en la medida que, además de representar tecnologías diferentes y desigualmente desarrolladas, para las destilerías anexas grande parte de los equipos del ingenio ya está amortizada, mientras para la destilería autónoma la capacidad de producción es bastante diferente.

Tabla 5.7. Módulos para fabricación de etanol de materias primas no convencionales

materia prima	módulo industrial
sorgo	Destilaría autónoma con 150 m^3/día de capacidad, inversiones industriales de 25 millones de dólares, operando 250 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, procesando por zafra 921 mil de t de sorgo dulce y produciendo 32,250 m^3 de etanol anhidro. Produce electricidad y vapor a partir de 230 mil t de bagazo producido por zafra, sin necesitar de aportes energéticos externos.
yuca	Destilaría autónoma con 150 m^3/día de capacidad, inversiones industriales de 45 millones de dólares, operando 250 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, procesando por zafra 189.7 mil de t de raíces de yuca y produciendo 32,250 m^3 de etanol anhidro. Necesita de 903 TJ como combustibles para atender su demanda de electricidad y calor de proceso.
remolacha	Destilaría autónoma con 150 m^3/día de capacidad, inversiones industriales de 30 millones de dólares, operando 250 días/año y 86% de aprovechamiento del tiempo, procesando por zafra 375 mil de t de remolacha y produciendo 32,250 m^3 de etanol anhidro. Necesita de 2,518 MWh y 212 TJ respectivamente para atender su demanda de electricidad y calor de proceso.

Tabla 5.8. Inversión en plantas productoras de etanol

Materia prima y tecnología	Inversión	Capacidad	Inversión unitaria
	mil US$	m^3/día	US$/litro/día
Cana, miel pobre	15,000	150	100
Caña, miel rica	15,000	150	100
Jugo directo	50,000	450	111
Jugo directo + hidrólisis	158,000	551	287
Maíz vía seca	61,000	500	122
Sorgo	25,000	150	167
Yuca	45,000	150	300
Remolacha	30,000	150	200

5.2.2. Costos de operación y mantenimiento

A continuación se detallan los costos para operar una planta productora de etanol, incluyendo básicamente los costos de los servicios auxiliares (energía eléctrica y vapor de proceso), costos de mano de obra, costos administrativos, insumos de producción y costos de mantenimiento y conservación.

Los costos energéticos o de los servicios, para las alternativas asociadas a la caña de azúcar, están cubiertos por el uso del bagazo en la producción de vapor de alta presión y la utilización de esquemas de cogeneración, con producción combinada de electricidad y calor útil, de manera de no requerir el aporte de energía adicional. De hecho, empleándose calderas con presión de 21 bar se asegura el balance entre las demandas y disponibilidades de vapor, mientras bajo una presión de 80 bar puede ser esperada un excedente de 80 kWh por tonelada de caña procesada (Assis, 2006). De modo semejante se consideró que el procesamiento del sorgo no demanda aporte de energía externa, por ser procesado de forma parecida a la de la caña.

Para el procesamiento del maíz y de la yuca, materias primas que no disponen de residuos con potencial energético, es necesario considerar a demanda de insumos energéticos externos. Así, para el maíz se adoptó 0.21 kWh de energía eléctrica y 10.2 MJ de combustibles por litro de etanol producido, valores promedios usuales en plantas reales. Para la yuca, se consideró solamente la demanda de combustibles, al nivel de 28 MJ por litro (un promedio en el rango presentado en el capítulo anterior), asumiendo el empleo de sistemas de cogeneración y la generación de electricidad en la propia planta. Para la remolacha, conforme observado anteriormente, se propone que el cultivo debería ocurrir en la región del Valle de Mexicali, relativamente cerca de la Central Geotérmica de Cerro Prieto, exactamente buscando utilizar las disponibilidades de calor de esa planta, consecuentemente no necesitando de aporte energético externo.

Para la energía eléctrica consumida se adoptó un precio de 150 US$/MWh y para el gas natural, asumido como la fuente complementar de energía térmica a ser empleada en calderas con 80% de rendimiento, se consideró un precio de 5.50 US$/MJ, valores adoptados en estudios similares para México (Fundación Emisión, 2005) y constatados como representativos.

Con base en datos de sistemas reales utilizando caña de azúcar, se estimó que los costos de mano de obra y costos administrativos corresponden respectivamente a 8.5% y 1.2% de los costos con materia prima. Para los costos asociados a los insumos de producción y costos de mantenimiento y conservación, se adoptó 3% de las inversiones para ambos casos. Estos valores fueran elegidos a partir de datos de plantas brasileñas (Assis, 2006) y son comparables a indicadores similares para otros procesos (Henniges y Zeddies, 2003). Como se verá a continuación, esos costos representan generalmente menos de 15% del costo total del etanol, mayormente formado por la materia prima, inversión y energía.

5.3. Costos totales

Estimándose el valor anualizado de las inversiones, mediante una tasa de descuento de 12% y una vida económica de 10 años y agregando los costos de materia prima y operación y mantenimiento anteriormente presentados, se obtiene el costo total del etanol como presentado en la Tabla 5.9 y la Figura 5.2, con los distintos componentes. Obsérvese que el costo del azúcar no producido, un costo de oportunidad, carga en el costo del etanol de miel rica de caña.

Tabla 5.9. Composición de los costos de producción de etanol (US$/litro)

Caso	Caña miel pobre	Caña miel rica	Caña jugo directo	Caña jugo + hidrólisis	Maíz vía seca	Sorgo	Yuca	Remolacha
materia prima	0.26	0.21	0.27	0.22	0.30	0.59	0.30	0.44
inversiones	0.09	0.09	0.10	0.26	0.07	0.13	0.23	0.15
energía	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.15	0.00
otros	0.06	0.21	0.06	0.12	-0.02	0.10	0.11	0.10
total	0.40	0.52	0.43	0.60	0.44	0.82	0.79	0.69

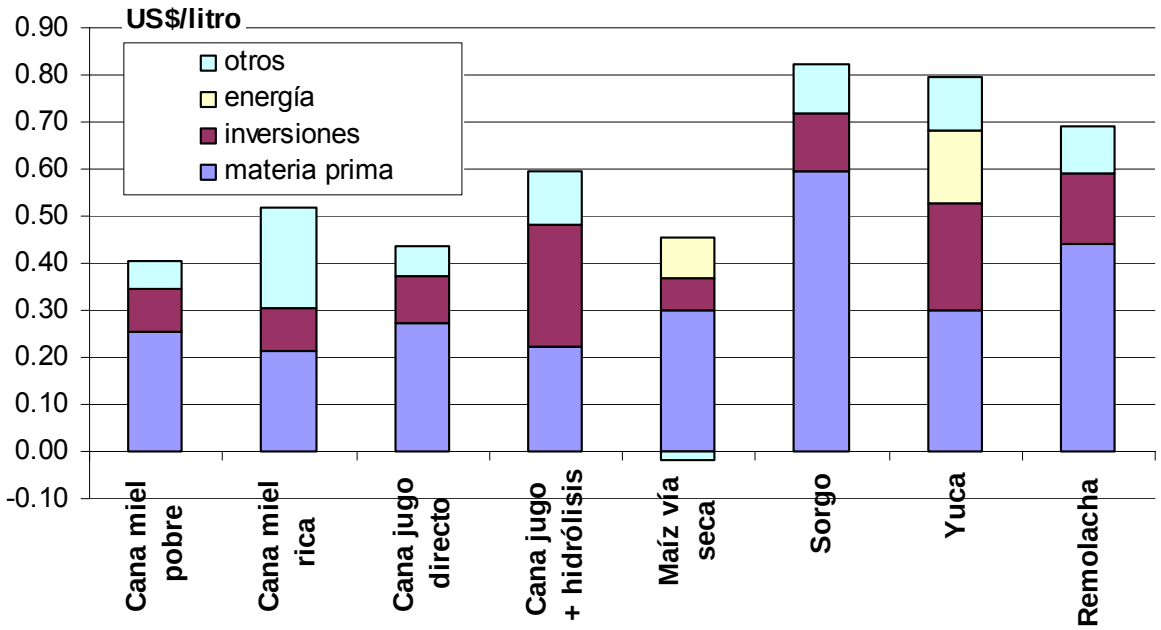


Figura 5.2. Costos del etanol para las materias primas y procesos considerados

Esos resultados, particularmente para las tecnologías convencionales (0.40 a 0.44 US$/litro) son más elevados que los costos del etanol de maíz en Estados Unidos (0.30 a 0.35 US$/litro, incluyendo los créditos para subproductos) y algo más bajos que los valores estimados para el etanol de remolacha y trigo en el contexto europeo (0.40 a 0.45 US$/litro) (Henniges, 2003). Como justificaciones básicas, en el caso americano la materia prima es más barata, mientras en Europa la materia prima es más cara y típicamente las inversiones son cerca de 30% más elevadas, particularmente por un nivel más elevado de automatización y exigencias ambientales (Henniges, 2006).

La importancia de los costos de la materia prima es evidente. En el caso que se tome el maíz no a nivel de costos estimados pero utilizando los precios practicados en México, cerca de 173 US$/t, resultaría un costo de etanol de 0.58 US$/litro, incrementandose en 32%. Analogamente, al asumir para la caña el precio KARBE de la reciente zafra, 33 US$/t, el costo del etanol de jugo directo pasaria a 0.59 US$/litro, incrementandose en 37%.

Se puede observar en la Figura 5.2 la estructura de costos agrupando los distintos componentes, siendo que para el caso de la caña mediante la miel rica se tomó como costo la reducción de producción de azúcar, estimada en 20 kg por tonelada de caña procesada, mientras para el maíz se restó los ingresos correspondientes a los granos de destilería, cerca de 0.07 US$ por litro. El costo del etanol de maíz comparable a los costos a partir de caña es consecuencia básicamente de un período de producción más largo para el grano (350 días), que permite reducir el costo de capital en el producto.

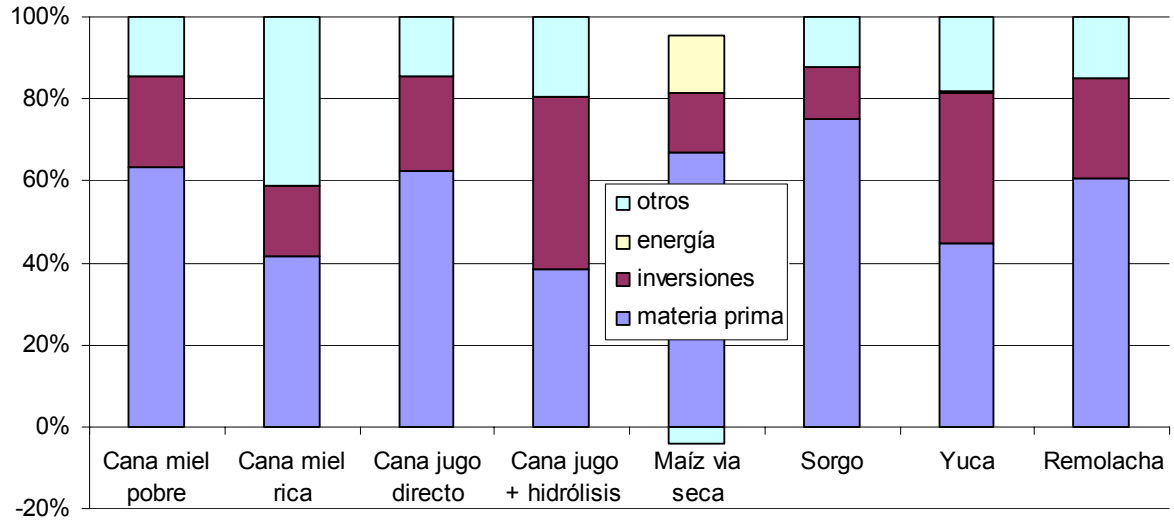


Figura 5.3. Estructura de costos del etanol para las materias primas y procesos considerados

De una manera general y como se esperaba, la materia prima representa más de la mitad de los costos, con la excepción del proceso utilizando hidrólisis, aun en desarrollo exactamente por su elevado costo y el caso de utilizarse miel rica, cuando se suman a los costos la perdida de ingresos producto de la reducción de producción de azúcar. Naturalmente que este costo es un costo de oportunidad, pero efectivamente debe ser considerado, valiendo para el caso en estudio cerca de 0.18 US$ por litro de etanol producido.

6. Precios de indiferencia para el etanol en México

Precios de paridad o de indiferencia para el etanol combustible pueden ser definidos de acuerdo con el punto de vista que se considere. Para el productor de etanol, precios de paridad son los niveles de precios para los cuales es indiferente producir etanol u otro producto a partir de la misma materia prima. Así, para el sector azucarero, cuya materia prima es la caña de azúcar, el precio de paridad seria como un precio de oportunidad o precio de indiferencia a partir de lo cual es más motivador producir el biocombustible, el cual es determinado basándose en el contenido equivalente de azúcares del etanol y adoptando eficiencias para los procesos industriales específicos de este producto. La Figura 6.1 sintetiza el concepto de los precios de paridad del etanol (PIEA), que deben ser comparados con los precios de venta del producto para verificar se existen condiciones por lo menos tan interesantes que los demás productos azucareros.

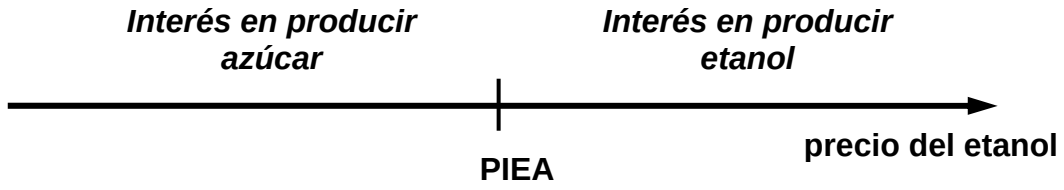


Figura 6.1. Competitividad de la producción de etanol

Para el consumidor, precios de paridad son los precios que hacen los costos operacionales iguales, utilizando o no etanol. Como se trata de discutir la factibilidad de la producción local de etanol para su inserción sostenible en la matriz energética mexicana, sin considerar la posibilidad de importar o exportar etanol combustible, son comparativamente más fundamentales las cuestiones referentes al productor. Para los consumidores, en la eventual adopción compulsoria de una mezcla etanol-gasolina (gasohol), la cuestión de precios (gasohol/gasolina) tendría relevancia esencialmente para lograr el deseable soporte político y social para el nuevo combustible. Efectivamente es muy importante que los consumidores sean informados sobre este nuevo combustible y no se sientan perjudicados por su adopción.

Más difícil es conceptualizar y determinar los precios de indiferencia del etanol para la industria petrolera, para quien la inserción de ese biocombustible como componente obligatorio parecería significar siempre una pérdida de volúmenes comercializados y márgenes de realización financiera. No obstante, es necesario profundizar esa percepción y determinar los reales impactos, bastante diferentes según sea el contexto. Particularmente en el caso de México, adonde además de importarse gasolina, se utiliza una significativa cantidad de MTBE importado, la utilización de etanol nacional podrá traer ventajas interesantes, reduciendo el costo final de la gasolina y ampliando la demanda de corrientes de menor valor, siempre que se reconozca el valor antidetonante del etanol y su precio por unidad oxigenante sea competitivo.

6.1. Precios de paridad para productores de etanol

La discusión de los precios de paridad tiene sentido solamente cuando hay una posibilidad concreta de utilizar la misma materia prima para productos diferentes, preciados de forma independiente. Esa situación ocurre particularmente para la caña, típicamente empelada para fabricar azúcar y que puede ser utilizada para producir etanol. Para las otras materias primas, además de no existir procesos integrados, el costo del insumo se efectuó en condiciones representativas, no habiendo así una paridad particular por explorar.

En la producción de etanol de caña de azúcar los precios de paridad deben ser determinados en función de los precios del azúcar y de las melazas, que representan los productos alternativos principales para esa materia prima. Tales precios son estimados sin tomar en cuenta las inversiones en sistemas de producción, pues representan directamente precios de oportunidad para productos alternativos utilizando una misma materia prima. Se adoptó para el azúcar 96 grados de polarización y no se consideraran las pequeñas influencias de los distintos contenidos de sacarosa para los diferentes tipos de azúcar. Así, a partir de la ecuación de Gay-Lussac para la fermentación de azucares a etanol, que resume las expresiones presentadas anteriormente en el apartado 4.1. Procesos utilizando caña de azúcar,

$$\underset{\textit{sacarosa}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \rightarrow \underset{\textit{etanol}}{4\ C_2H_6O} + 4\ CO_2 \qquad (1)$$

se observa que en condiciones representativas, un litro de etanol requiere 1.67 kilogramos de sacarosa para ser producido, permitiendo establecer la expresión para Precio de Indiferencia del Etanol Anhidro, PIEA, como función del precio del azúcar, PAzu.

$$\text{PIEA (\$/litro)} = 1.67 * \text{PAzu (\$/kg)} \qquad (2)$$

Para las condiciones de México, conforme se comentó anteriormente, la producción de etanol podría darse principalmente en complementación a las actividades azucareras, en la extensión posible expandiendo los cultivos y añadiendo destilerías a las plantas existentes, siempre que en un marco de eficiencia económica. De hecho, las melazas son subproductos siempre presentes en la fabricación de azúcar y bajo condiciones adecuadas de precios, pueden ser materias primas importantes para la producción de etanol. En ese caso la producción de etanol no implica necesariamente en incrementar el área sembrada en caña y considerando la conversión de una melaza con un contenido de azucares (ART) de 56%, la expresión (2) anterior puede ser adaptada para determinar el Precio de Indiferencia del Etanol Anhidro, definiéndose PMel como precio de la melaza:

$$\text{PIEA (\$/litro)} = 2.98 * \text{PMel (\$/kg)} \qquad (3)$$

Por lo tanto, los precios de indiferencia esencialmente son precios de oportunidad de la materia prima sacarosa, expresados en términos de etanol. Como existen diferentes productos azucareros, es oportuno observar la existencia de distintos niveles de precios, correspondientes progresivamente a utilizar las melazas agotadas y competir con los mercados de productos azucareros, de excedentes en los mercados libres y de cuotas en el mercado americano. Para el contexto mexicano los productos azucareros son comercializados a precios que difieren de

manera sensible según los mercados considerados, debiendo ser evaluados por lo menos para dos casos: el azúcar de consumo interno y el azúcar exportado, que puede presentarse en dos situaciones:

a) contratos preferentes con Estados Unidos, dentro de las cuotas establecidas por el Departamento de Agricultura americano, con precios determinados por los Contratos No. 14 de la Junta de Comercio de Nueva York (New York Board of Trade - NYBoT) y con Europa,

b) contratos libres o de excedentes, que pueden seguir los precios de los Contratos No. 5 de la Bolsa de Londres o los Contratos No. 11 del NYBoT.

Como se observa en la Figura 5.2, en los últimos años el azúcar ha sido comercializado en el mercado de excedentes a precios FOB variando entre 0.13 a 0.40 US$/kg, señalando para el etanol un valor de indiferencia entre 0.22 a 0.67 US$/litro. Ya para los contratos preferentes los precios son practicados a niveles más elevados, entre 0.37 a 0.56 US$/kg, resultando un valor de indiferencia para el etanol entre 0.62 a 0.93 US$/litro. Naturalmente que el análisis de los precios de paridad impone asumir los precios de exportación en base FOB, con los descuentos y costos asociados a logística del producto.

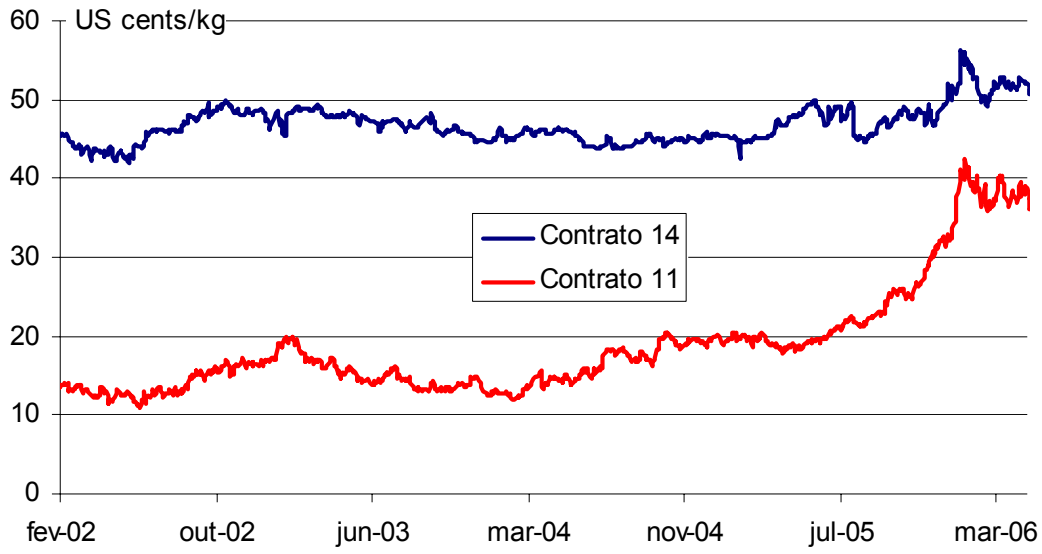


Figura 6.2. Precios de cierre en el primero día del mes para los Contratos de Azúcar de la Bolsa de Nueva York (NYBOT, 2006)

Las condiciones de exportación preferenciales no representan un volumen muy significativo, que además tiende a reducirse, como también parecen disminuir en los últimos años el diferencial de precios observados entre los mercados preferentes y libres. Por otro lado, no obstante la producción azucarera mexicana, alrededor de 5.6 millones de toneladas, sea aproximadamente de la misma magnitud del mercado interno, la cuota mexicana para exportación a precios preferentes y sin aranceles, para Estados Unidos sería de hasta 350 miles de toneladas (siendo efectivamente ejercidas 100 miles de toneladas) y para la Comunidad Europea, 250 miles de toneladas, esa última ampliada en función de accidentes climáticos en

otros países exportadores de la región (Presidencia de la República, 2005). Las complejas negociaciones de precios y cuotas de azúcar en el marco del TLCAN, establecerían que en principio, el mercado americano, con sus altos precios internos, deberá abrirse para los productores mexicanos a partir de 2008, afectando directamente estos valores, pero tales negociaciones no parecen cabalmente definidas.

Considerando los precios de la melaza (melaza pobre o miel C), vistos en capítulo anterior, y la expresión de paridad, los precios de paridad del etanol para el productor de melaza estarían entre 0.283 a 0.298 US$/litro. En síntesis y en la configuración presente de precios, para los productores de la agroindustria cañera, los precios de paridad del etanol frente al azúcar son significativamente más elevados que considerando el uso de melazas.

6.2. Costos de paridad frente a gasolina y al MTBE

Las características del etanol como combustible, para su utilización en motores de ciclo Otto puro o en mezclas con gasolina, permiten determinar los precios de paridad para ese biocombustible frente a los derivados de petróleo. Al compararse el poder calorífico volumétrico del etanol (21,146 kJ/litro) con el correspondiente para la gasolina (32,250 kJ/litro), se observa que una unidad de volumen de etanol presenta 65% del contenido energético de la gasolina y en tales condiciones, para igualdad de costos energéticos, el etanol debería costar 35% menos que la gasolina. Considerando solamente este aspecto, una mezcla de 10% de etanol en la gasolina llevaría a un incremento de consumo de aproximadamente 3.5%, en comparación al consumo con gasolina pura. Sin embargo, hay otras importantes diferencias entre estos combustibles, que deben ser evaluados en términos de energía neta efectivamente disponibilizada por el motor de combustión cuando emplea cada uno de los combustibles.

El etanol presenta una elevada relación hidrógeno/carbón en su composición, una relación estequiométrica aire/combustible significativamente menor que la gasolina (9 contra 14,5) y consecuentemente produce un volumen más grande de gases por unidad energética. Por eso, la presión media en los cilindros se incrementa, permitiendo un torque superior, la realización de más trabajo por ciclo del pistón y una eficiencia algo más elevada. Además, el calor de vaporización del etanol es 2,3 veces más alto que para la gasolina, enfriando relativamente más la mezcla aire/combustible admitida al cilindro, incrementando su densidad y reforzando el efecto anterior. De esa manera, las mezclas etanol/gasolina con hasta 10% de etanol promueven un incremento de eficiencia de 1 a 2% en los motores, que producen más trabajo por unidad de energía del combustible (Prakash, 1998).

Los efectos comentados en el análisis anterior son más o menos potencializados por el diseño del motor y condiciones de utilización, pero muchas pruebas conducidas en diversas condiciones confirman que la mezcla de gasolina etanol casi no afecta el consumo y el desempeño de los vehículos. Es posible prever que los motores más modernos, con inyección electrónica de combustible se comporten mejor con la mezcla gasolina/etanol debido a los sistemas automáticos para controlar la cantidad de aire aspirado, sin embargo también en los motores más antiguos con carburadores se puede esperar un efecto positivo, asociado a operación con una mezcla ligeramente más pobre. Desde 2003 son comercializados en Brasil vehículos “flex-fuel”, capaces de utilizar mezclas de gasolina e etanol, variando entre 25% (el

gasohol en Brasil) y 100% de etanol, debiendo el sistema de combustión ser optimizado para una proporción entre el biocombustible y la gasolina.

Evaluaciones recientes, realizadas por las empresas petroleras ECOPETROL de Colombia (Ximena, 2004) e RECOPE de Costa Rica (MINAE, 2005), buscando fundamentar la adopción de mezclas gasolina y etanol en sus países, llevó a los resultados relevantes, indicando como generalmente positivo el efecto sobre la potencia y marginal el impacto sobre el consumo, debido a presencia de bajos contenidos de etanol en la gasolina. Resultados de pruebas piloto demostraran que en general la mezcla con etanol mejoró el consumo de combustible por kilómetro transitado. Diferentes estilos de conducir los vehículos y la diversidad de regímenes de utilización (ruta, ciudad, etc.) causan variaciones de consumo superiores a 5%, más significativas que el efecto de la adición de etanol en la gasolina.

Sumándose todos los efectos, resulta que por la adicción de etanol, se obtiene un combustible más pobre energéticamente pero de calidad para conversión térmica más alta que la gasolina, prácticamente no influyendo en el consumo de los motores. Luego, un litro de etanol presenta un valor de uso igual al de un litro de gasolina. Por eso, aunque los precios puedan ser afectados de modo diferenciado por los impuestos, siempre se podrá efectuar una comparación entre los precios de la gasolina y el gasohol de forma directa, en base volumétrica. En este sentido, sin considerar los impuestos y tasas, para una distribuidora que debería mezclar el etanol a gasolina, el valor de paridad del etanol debe ser igual al de la propia gasolina por que el producto presenta igual capacidad de producir trabajo. Para los consumidores vale un raciocinio análogo: el etanol en el gasohol vale como la gasolina pura, resulta el mismo efecto. En otras palabras y como una conclusión muy importante: independientemente del poder calorífico, el litro de etanol anhidro vale, en términos de energía útil, lo mismo que un litro de gasolina, cuando en mezclas hasta 10% en el derivado de petróleo.

De esa manera, un precio de paridad del etanol es el propio precio de la gasolina, valor que ha cambiado de modo importante en los últimos años, siempre respondiendo a las variaciones del precio del petróleo. En México, considerando el monopolio estatal de la industria petrolera, el Estado define los precios de los combustibles de acuerdo a una fórmula, de responsabilidad de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público, pagándose al productor (PEMEX) un precio referenciado al precio spot del producto en la refinerías americanas de Houston, ajustado por factores de calidad y logística, como presión de vapor, flete y manejo del producto. Esos factores incrementan el precio del producto en aproximadamente 7%, para el caso de la gasolina Magma, sin impuestos. Para esa gasolina, la especificación de referencia adoptada es la gasolina sin plomo, UNL-87 RON Costa Norteamericana del Golfo de México (Rodríguez, 2006). Finalmente, a ese precio se agregan los impuestos y márgenes, que prácticamente doblan el precio final del producto para el consumidor (PEMEX, 2004). Mecanismos semejantes de formación de precios de combustibles son usuales en muchos países.

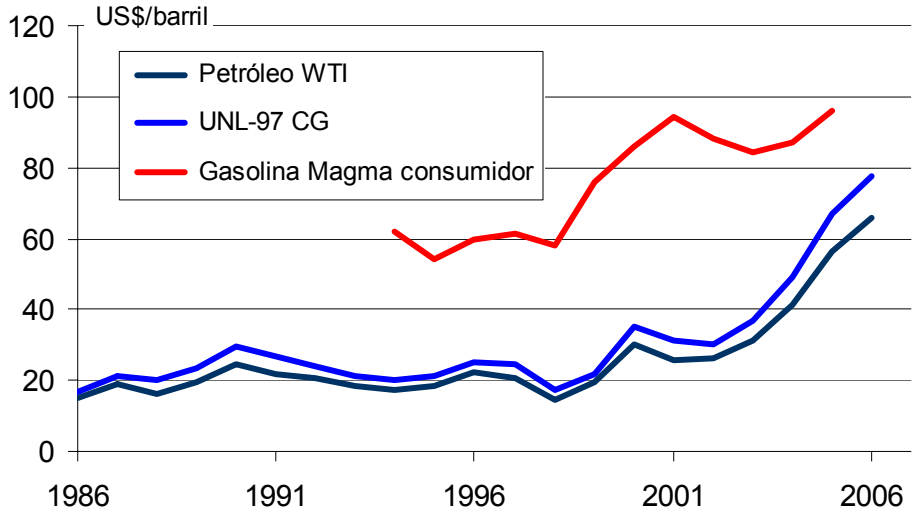


Figura 6.3. Evolución del precio del petróleo (WTI) y de la gasolina spot (sin impuestos) en Costa del Golfo (CG) y Los Angeles (LA)

En la Figura 6.3 se presenta la evolución de los precios medios anuales del petróleo crudo (WTI) y del precio spot de la gasolina UNL-87 en Costa de Golfo (CG) (EIA/DOE, 2006), ambos precios naturalmente sin tributos y de los precios de la gasolina Magma para consumidores, permitiendo observar como efectivamente en los últimos años esos combustibles incrementaran sus precios de modo significativo y de un modo general, los precios de la gasolina mexicana mantuvieran alguna relación con los precios en el mercado americano, constatándose un acercamiento en los últimos años. Los valores para 2006 son un promedio para los cinco primeros meses de ese año.

A partir de esos valores y considerando como referencia los valores para Costa del Golfo, efectivamente empleados en la fórmula de precios de la gasolina, los precios de paridad del etanol en México, del punto de vista del consumidor, son crecientes, pasando de 0.332 US$/litro en 2004 a 0.449 US$/litro en 2005 y 0.523 US$/litro en los primeros meses de 2006, ya agregando los costos adicionales de importación y considerando los ajustes de calidad, tomados como 7%. De esa manera, el precio de paridad de la gasolina para el mercado consumidor y para los distribuidores de gasolina estaría, a valores de 2005, alrededor de 0,45 US$/litro, o sea, hasta ese nivel de precio se justifica pagar por el etanol, comparándose su valor de uso con la gasolina a los precios mexicanos.

Por supuesto que hay una marcada volatilidad en los precios del petróleo, con algunos analistas esperando una reducción y estabilización en los próximos meses. Realmente es difícil predecir el comportamiento de una commodity tan importante, en cuyo precio intervienen tantos factores, pero aparentemente las posibilidades de que este precio se mantenga en niveles elevados es más fuerte, lo que significa que los precios de soporte para el etanol tienden a mantenerse elevados. No obstante algunos estudios de la PEMEX señalando sistemáticamente una reducción en los precios internacionales de los combustibles, no parece haber

fundamentos fuertes para esos escenarios optimistas de precios para los derivados de petróleo en el mediano y largo plazo.

La Secretaria de Energía del gobierno americano presentó en el comienzo de 2006 una previsión de los precios futuros del petróleo y de los derivados, hasta 2030 (DOE, 2006), sintetizada en la Figura 6.4, indicando que los precios de largo plazo del barril de petróleo deberán ubicar-se en niveles superiores a 50 US$/barril. Por su parte, la Agencia Internacional de Energía, revisó sus proyecciones de precio del WTI para 2010, pasando de 33 US$/barril para 45 US$/barril (Morgan, 2005).

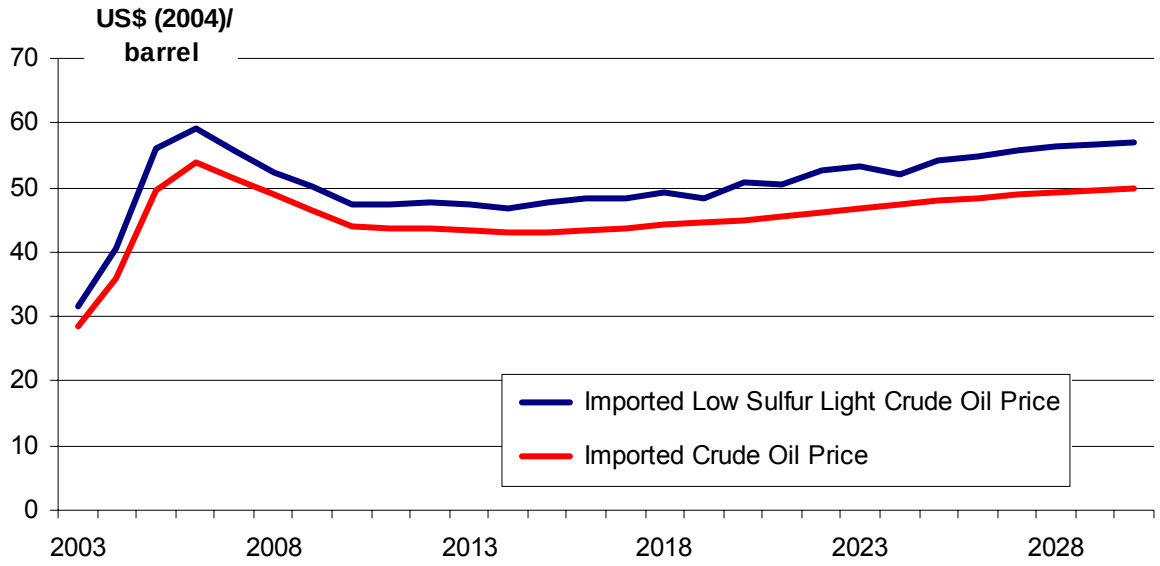


Figura 6.4. Proyecciones de precios del petróleo de la EIA/DOE, Febrero de 2006

Una manera alternativa y bastante razonable para evaluar los precios de paridad del etanol es considerando como referencia el producto que el biocombustible busca sustituir, por lo general el MTBE. En este sentido, cabe notar que los oxigenantes son utilizados en diferentes contenidos para mejorar las características de la gasolina, principalmente el octanaje y reducir las emisiones, usualmente definiendo un contenido mínimo de oxígeno en la mezcla de acuerdo con pautas ambientales. Típicamente se mezcla una cantidad de MTBE suficiente para asegurar un contenido mínimo de oxígeno, que deberá ser medido y reportado según la Norma ASTM D-4185.

Naturalmente que vale para el MTBE la misma lógica que se utiliza para formar el precio de la gasolina y de los demás productos petroleros, o sea, buscar la paridad de precios con otros mercados abiertos. Según datos de PEMEX, en promedio el precio del MTBE importado en 2005 fue 87.15 US$/barril, esperándose para 2006 un precio cercano a 75 US$/barril. Para esos niveles, el etanol valdría entre 0.472 a 0.548 US$/litro, valores próximos al precio sin impuestos de la gasolina expuesto anteriormente.

Una forma alternativa y conceptualmente correcta para se evaluar el precio de paridad del MTBE frente al etanol seria con base en su contenido de oxigeno. Bajo ese concepto, como el

etanol contiene 1.93 veces más oxígeno que el MTBE, su valor frente a ese éter es efectivamente 1.93 veces mayor, correspondiendo a un rango entre 0.911 a 1.058 US$/litro. De ese modo, los productores de combustible que para cumplir con las especificaciones de las gasolinas deben agregar componentes oxigenados, estarían en principio dispuestos a pagar por el etanol casi el doble del valor que pagan por la gasolina.

A partir de los rangos de precios de paridad determinados anteriormente para el etanol frente a otros productos azucareros y a los combustibles que puede desplazar, considerando los valores para 2005 y comienzo de 2006, es posible preparar la Figura 6.5, indicando la existencia de un margen favorable para introducción del etanol de caña, en la medida que hay una brecha entre los precios de indiferencia para productores y distribuidores de combustible. Este espacio entre los precios es más evidente entre el etanol producido a partir de melazas, depende de la coyuntura de precios para el etanol sustituyendo azúcar producido a precios de mercado abierto y ciertamente no existe para el etanol remplazando azúcar vendido a precios de los mercados preferentes.

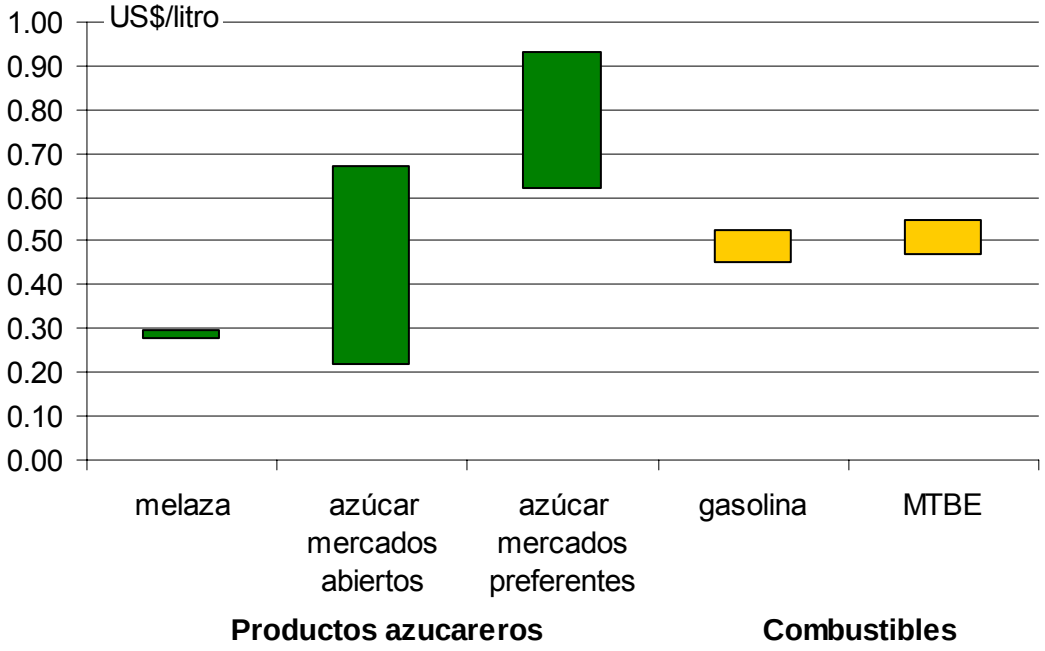


Figura 6.5. Precios de paridad para el etanol de caña frente a otros productos azucareros y combustibles pasibles de sustitución.

De toda manera, la figura indica que hay un margen de negociación entre productores y compradores, sin necesidad de subsidio directo. Estos comentarios son válidos para el etanol de caña, para otras materias primas dependería del margen aplicado sobre el costo de producción. Particularmente para el etanol de maíz por vía seca, asumiendo que los costos no divergen sustancialmente de la caña, en los casos convencionales presentados en la Tabla 5.9, puede ser esperado un cuadro igualmente favorable a la introducción del biocombustible.

Concluyendo la discusión desde el punto de vista de las condiciones de uso, cabe observar que las mezclas de etanol con gasolina producen dos efectos principales, elevación del octanaje e incremento de la presión de vapor, que pueden ser de interés en relación a los precios y que cabe comentar brevemente. Con relación al octanaje, la mejora que el etanol induce en la gasolina depende de la composición de la gasolina-base, generalmente afectando más el RON (Research Octane Number) que el MON (Motor Octane Number), pero implicando claramente que la gasolina-base puede ser un producto de precio inferior, que llega a cumplir las especificaciones solo con la adición de etanol, que le agrega valor. Como regla general, cuando más baja la calidad de la gasolina base, más sensible es el efecto del etanol (CEPAL, 2004).

En relación a la presión de vapor, tratase de un parámetro que debe ser especificado adecuadamente para permitir arranque en frío sin problemas y al mismo tiempo, sin excesiva volatilidad de la gasolina y consecuente elevación de las emisiones evaporativas. La presencia de etanol tiende a aumentar la presión de vapor de la mezcla, con un máximo para 5% de etanol, reduciéndose después lentamente en la medida en que crece el contenido de alcohol. Así, típicamente, para 5% de etanol la presión de vapor sube 7 kPa y para 10%, sube 6,5 kPa (Furey, 1985). Este efecto impone un ajuste en la composición de la gasolina base, que debe presentar un contenido más bajo de fracciones livianas, como butanos e pentanos. Usualmente las gasolinas con fracciones más pesadas son de menor calidad y de menor precio. Es por eso que, para las condiciones brasileñas, se estima para las gasolinas base que podrían ser adoptadas para formular gasohol, un precio en el mercado americano alrededor de 10% menos que el precio de una gasolina ya especificada (CEPAL, 2004). Sin embargo, es importante reconocer que intervienen otros efectos, como las escalas de producción, las facilidades y condiciones disponibles para producir, transportar y almacenar la gasolina base requerida, que frente a volúmenes muy reducidos de consumo, pueden llevar a pequeñas reducciones o mismo alguna elevación en el precio de la gasolina base. Esas variaciones naturalmente pueden afectar indirectamente los precios de paridad.

7. Mercado para etanol combustible en México

Aun que la fuerte expansión de la demanda de etanol combustible en los países desarrollados, en particular en los Estados Unidos, pueda significar un mercado importante para el etanol producido en México, en el presente estudio se consideró apenas el mercado interno para fines combustibles.

Conforme los escenarios propuestos para la inserción del etanol en el mercado mexicano de combustibles, se admitió su utilización en tres situaciones, que consideran desde un consumo para cubrir parte del mercado de oxigenantes, hasta la demanda más amplia, alcanzando a toda la demanda de gasolina:

> Escenario No.1: Sustitución de la producción nacional de MTBE (Metil Terbutil Éter) y TAME (Teramil Metil Éter) por ETBE (Etil Terbutil Éter) y TAEE (Teramil Etil Éter), manteniendo las importaciones de MTBE necesarias para satisfacer la demanda de las gasolinas oxigenadas en las Zonas Metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de México[4].
>
> Escenario No. 2: Eliminación del empleo de éteres derivados de petróleo en la formulación de gasolinas, manteniéndose la exigencia de oxigenación de gasolinas en las Zonas Metropolitanas al nivel de 2% en peso, empleando etanol como componente oxigenante.
>
> Escenario No.3: Mezcla de etanol en 10% del volumen de todas las gasolinas consumidas en México, correspondiendo a un nivel de oxigenación de 3,5% en peso, valor más frecuentemente utilizado en los demás países que utilizan ese biocombustible. Ese escenario es distinto del tercero escenario estudiado en la Tarea 2 del presente proyecto, que consideró la mezcla de 10% de etanol solamente en las gasolinas actualmente no oxigenadas, cerca de 60% del mercado. De esa manera, al considerarse 10% de etanol en todas las gasolinas de México, se espera reproducir mejor una situación de amplia adopción de ese biocombustible.

Para cada escenario es posible estimarse la demanda potencial de etanol, con auxilio de las siguientes hipótesis o consideraciones:

- en las gasolinas oxigenadas se asumió un contenido de oxigeno de 2%, a pesar de la especificación indicar que se podría oxigenar hasta 2.7% (SEMARNAT, 2006), como una manera de considerar la necesaria flexibilidad operativa en las refinerías.
- para alcanzar un contenido de oxigeno de 2% en peso en la gasolina, se requiere la mezcla con 11% de MTBE o 12.5% de ETBE o 5.7% de etanol en volumen.

[4] En las discusiones sobre los escenarios para inserción del etanol en México, ese primero escenario, contemplando sustituir el MTBE nacional fue cuestionado en la medida que parece ser más interesante y económico sustituir la importación de MTBE (cerca de 12% del consumo nacional) y mantener la producción de MTBE en el parque de refino de PEMEX. Esa posibilidad fue descartada por restricciones logísticas y características particulares del mercado mexicano de gasolinas, de acuerdo con el consultor Nicolás Rodríguez, del IMP/PEMEX. Habría que encontrar utilidad para las plantas de MTBE, como por ejemplo, en la fabricación de alquilados e iso-octano, sin embargo cabe evaluar la pérdida de capacidad involucrada en esta transformación.

- para efecto de los cálculos de producción de los éteres no se particularizó el TAME y el TAEE, respectivamente asumidos como MTBE y ETBE.
- en la conversión de las unidades de producción de MTBE para ETBE, asumiéndose que se mantenga la demanda del principal componente, butileno, para igual rendimiento de conversión se debe observar un incremento de aproximadamente 15% en la capacidad volumétrica de producción de éteres. Sin embargo, el contenido 14% más bajo de oxigeno en el ETBE, comparativamente al MTBE, hacen ambas corrientes semejantes, en términos de capacidad oxigenante.
- la demanda específica de etanol en la producción de ETBE es adoptada como 0.43 m^3 de etanol por m^3 de ETBE, valor determinado a partir de la estequiometria de las reacciones químicas involucradas.
- la demanda de gasolina PEMEX Magma en las zonas metropolitanas en las cuales ese combustible debe ser oxigenado corresponde a 29.3% de la demanda nacional de gasolinas de esa calidad, de acuerdo a las ventas observadas en 2005. Se asume que esa participación no se altere.
- se consideró despreciable para los objetivos del presente estudio la exigencia particular de uso de gasolinas oxigenadas en el Municipio de Ciudad Juárez, (Chihuahua) durante los meses del periodo invernal (noviembre a marzo).
- para los niveles de mezcla de etanol considerados, entre 5.7 y 10% en volumen, no se observan variaciones sensibles en el consumo específico vehicular y consecuentemente el contenido de energía útil será admitido constante. En otras palabras, la utilización de etanol no afecta la demanda de gasolina al nivel de usuario.

Un resumen de las ventas de gasolina y las correspondientes fracciones de MTBE observadas en 2005, según su calidad y presencia del oxigenante es presentado en la Tabla 7.1. Las ventas de gasolina corresponden a los datos informados por la empresa productora y suministradora del mercado (PEMEX, 2006), mientras el volumen demandado de MTBE fue estimado para una fracción de 11% en volumen (2% oxígeno en peso), aun que la presencia de ese oxigenante pueda variar siempre que se mantenga el contenido de oxigeno hasta 2.7 % de oxigeno en peso, para la fracción de gasolinas especificadas de acuerdo con la legislación mexicana.

Tabla 7.1. Consumo de gasolina en México en 2005

Tipo de gasolina	Mercado	Volumen de gasolina (MBD)	Volumen de MTBE (MBD)
PEMEX Premium	todo el país	111.9	12.3
PEMEX Magma	3 zonas metropolitanas	163.7	18.0
PEMEX Magma	resto del país	395.9	0.0
Total	-	671.5	30.3

Para el primero escenario, de menor demanda de biocombustible, la estimación de requerimiento de etanol depende de la capacidad nacional de producción de éteres oxigenantes, como se analizó en el tópico 2. Producción de éteres y etanol en México: cuadro actual. No obstante que en la actualidad el parque mexicano de producción de MTBE y TAME opere a aproximadamente 70% de su capacidad nominal por falta de carga de las unidades catalíticas, se asume que pueda operar a plena capacidad al utilizar etanol como materia prima. En ese caso, considerando la capacidad total existente para producción de MTBE en las seis plantas de PEMEX, 15.6 MBD, y asumiendo una eficiencia de operación de 92%, sería posible una producción de 14.4 MBD de MTBE o una 16.5 MBD de ETBE, con igual capacidad oxigenante, cerca de la mitad de las necesidades de México estimadas para 2005. De ese modo, el ETBE producido en las plantas de PEMEX operando sin restricciones podría aditivar 47.5% de la gasolina mexicana actualmente oxigenada, o sea, 130.9 MBD, al nivel de 2% de oxigeno.

Utilizando los coeficientes presentados anteriormente y la demanda de gasolina con MTBE observada en la Tabla 7.1, resulta una demanda de etanol para la producción de ETBE de 411.9 mil m^3 (7,097 barriles diarios) de etanol por año. Vale observar que ese caso la demanda de gasolina se reduce proporcionalmente debido al volumen más alto de componente requerido, o sea, para mantener el mismo nivel de oxigenación, la utilización de ETBE desplazando el MTBE promueve una reducción de 1.5% en la demanda de gasolina. Por supuesto esa reducción ocurre solamente en las gasolinas a ser aditivadas con ETBE, significando para valores de 2005 una reducción de 1.96 MBD en las necesidades de gasolina por ese efecto.

Para el segundo escenario de utilización de etanol, se asume que toda la gasolina oxigenada en 2005, 275.6 MBD, deba contener 5.7% de etanol para alcanzar el 2% de oxigeno en peso, resultando en demanda anual de 911.7 miles m^3. Análogamente al escenario anterior, es posible determinar el impacto sobre la demanda de gasolina, resultando en ese caso un incremento de 14.6 MBD, debido a reducción de contenido de componente. En ese caso el ahorro es solo de MTBE y TAME, con algún incremento en la demanda de gasolina.

Para el tercero y último escenario, utilizando el procedimiento adoptado para el escenario anterior y asumiendo que toda gasolina consumida en México, 671.5 MBD en 2005, podría contener 10% de etanol anhidro, existiría una demanda anual de 3,897 mil m^3 de etanol, por su vez desplazando una cantidad de 36.8 MBD de gasolina, efecto neto de la adicción de 67.1 MBD de etanol y la retirada de 30.3 MBD de MTBE.

Para las condiciones observadas en 2005, presentase en la Tabla 7.2 la demanda de etanol estimada y el impacto neto de su adopción sobre el ahorro anual de divisas por la importación de gasolina y MTBE, ambos evaluados a 0.45 US$/litro, valor de referencia para 2005. Establecidos los niveles de demanda de etanol en los escenarios propuestos para las presentes condiciones de demanda de combustibles, es oportuno estimar como podrán comportarse tales valores en mediano plazo, incorporando las previsiones de crecimiento del mercado de combustibles. Cabe mencionar que para el Escenario 1 la demanda de etanol esta condicionada a capacidad instalada de producción de MTBE, a ser convertida para ETBE y como no se dispone de informaciones sobre planos de expansión de esa capacidad, no serán efectuadas proyecciones para ese caso. Por otra parte, para los Escenarios 2 y 3, la demanda potencial de etanol será determinada directamente por la demanda de gasolina en el país, corrientemente

alrededor de 650 mil barriles diarios y naturalmente con perspectivas de evolución determinadas por el ambiente económico futuro y la expansión de la flota vehicular.

Tabla 7.2. Escenarios para introducción del etanol combustible en México, valores para 2005

Escenario	Demanda de etanol (mil m^3/año)	Ahorro de divisas por la reducción de la importación de gasolina y MTBE (mil US$)
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE, en la capacidad de producción	411.9	185,355
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5.7% en 44% de la gasolina (2% de oxigeno)	911.7	410,265
3. Mezcla de 10% de etanol en toda gasolina del país (3.5% de oxigeno)	3,897.0	1,753,650

Adicionalmente, existen cambios a considerar en la estructura de demanda de los combustibles. Por ejemplo, conforme las proyecciones de ventas de PEMEX y en coherencia con la tendencia observada en los últimos años, la demanda de gasolina PEMEX Premium deberá presentar un tasa de crecimiento más elevada que la gasolina PEMEX Magma, pasando de 16.7% en 2005 para 21.0% en 2010, porcentual que se estima deberá mantenerse en los anos siguientes (PEMEX, 2006). Ese crecimiento diferenciado afecta directamente la demanda de etanol, ya que en la gasolina PEMEX Premium es obligatoria la presencia de un aditivo oxigenante.

Para estimar las demandas de etanol en 2010 para los escenarios evaluados, fueron considerados dos proyecciones para el mercado de gasolina en México, ambas presentadas por PEMEX y representando dos niveles de crecimiento del mercado. En las estimaciones de demanda de gasolina del Plan de Negocios de PEMEX para el período 2004-2012, se adopta una tasa de crecimiento promedio anual de 3.3%, proyectada hasta 2024 y correspondiente al escenario de crecimiento alto para la gasolina (Flores Cotera, 2006). Como escenario de menor expansión, se tomó el Pronóstico de Ventas de gasolinas y diesel, preparado por PEMEX para el período 2006-2014, que considera una tasa de 3.0% (PEMEX, 3006). Los resultados de esas proyecciones son presentados en la Figura 7.1, para los periodos asumidos en cada estudio.

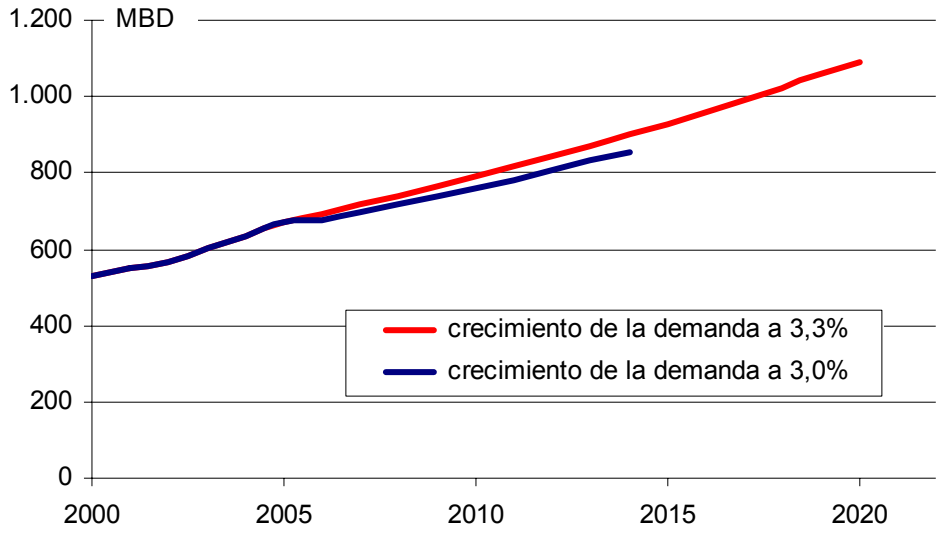


Figura 3.1. Estimaciones de evolución de la demanda de gasolina en México

Tabla 7.3. Estimativa de demanda de etanol combustible en México en 2010

	crecimiento de la demanda a 3.0%	**crecimiento de la demanda a 3.3%**
Demanda de Gasolina (MBD)		
PEMEX Premium	160.2	165.8
Gasolina PEMEX Magma con MTBE	175.5	182.8
Gasolina PEMEX Magma sin MTBE	423.5	441.0
Gasolina total	759.3	789.6
Demanda de etanol (miles de m^3 por año)		
Escenario 2 (etanol a 5,7% en 44% del mercado)	1,110.6	1,153.1
Escenario 3 (etanol a 10% en todo el mercado)	4,406.3	4,582.4

Con base en esas proyecciones y los valores de la Tabla 7.3, fue posible estimar las demandas potenciales de etanol para o final de la década para los Escenarios 2 y 3, como se presenta en la Tabla 7.3. Con efecto de comparar los tres escenarios, en la Figura 7.2 se incluyen todos los resultados, inclusive el Escenario 1, que depende únicamente de la capacidad existente de producción de MTBE.

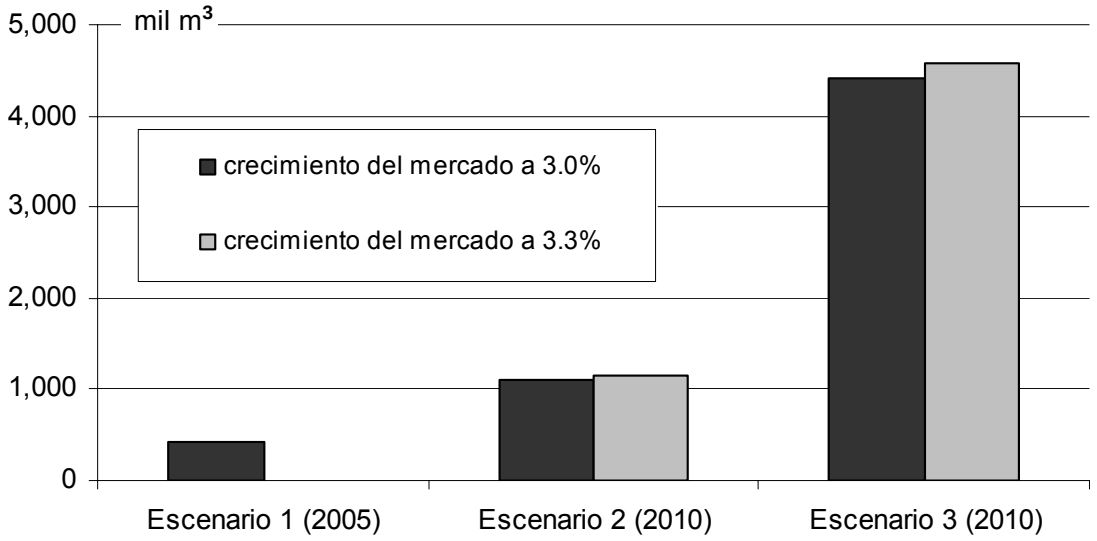


Figura 7.2. Escenarios de demanda de etanol en México para dos escenarios de crecimiento del mercado de gasolinas

Como se evidencia por esos resultados, la demanda potencial de etanol en México es bastante más afectada por los escenarios de introducción de ese biocombustible que por las expectativas de evolución de la demanda en el mercado de combustibles. Vale recordar que la presente evaluación consideró un contenido de 2% de oxigeno en peso; en la hipótesis de se trabajar con un contenido inferior, los valores estimados para el Escenario 2 se reducen proporcionalmente, mientras para el Escenario 1 y 3 se mantienen, en la medida que corresponden respectivamente a utilizar la capacidad nacional de producción de éteres para consumir etanol o mezclar etanol al nivel de 10% en toda gasolina del país.

8. Factibilidad económica de la producción y uso de etanol

A partir de los temas explorados en los capítulos precedentes, que fundamentaran las condiciones actuales y potenciales de oferta y producción de etanol, es posible definir mejor los contextos más favorables cotejando las necesidades con las posibles fuentes de producto. Así, en los párrafos siguientes se aborda inicialmente la dimensión de los parques productores de etanol para México, para las diferentes tecnologías de producción, especificadas por los módulos productivos, y escenarios de demanda, permitiendo estimar el nivel de inversión y requerimientos de tierra para suministrar la cantidad necesaria de materia prima. En seguida se efectúa un análisis económico para la producción de etanol en México, considerando los escenarios anteriores, basándose en los costos estimados para producción y los precios de paridad evaluados precedentemente. No se considero la posibilidad de comercio internacional de etanol combustible. Al final se presenta un análisis de sensibilidad de los principales parámetros que afectan los precios del etanol, de modo a robustecer la eventual toma de decisiones sobre la oportunidad y factibilidad económica del etanol combustible para México.

Los aspectos explorados en ese capítulo evidentemente no agotan las amplias implicaciones de la producción y uso del etanol, siendo imperativo agregar informaciones e indicadores de sostenabilidad para las distintas opciones, objeto de otros estudios. No obstante, la viabilidad económica es el punto de partida para propuestas consistentes buscando implementar programas de biocombustibles.

8.1. Dimensiones del parque productor de etanol en México

Considerando los escenarios de demanda de etanol estudiados en Capítulo 7. Mercado para etanol combustible en México y las producciones potenciales de etanol para los diferentes módulos productivos presentados en el Capítulo 4. Procesos tecnológicos relevantes para producción de etanol, las tablas siguientes presentan el número de unidades productivas necesarias, las inversiones asociadas a su implantación y las superficies de cultivo requeridas para cada caso. Los requerimientos de tierra y las inversiones fueran graficados en las Figuras 8.1 y 8.2, evidenciando como los impactos son nítidamente diferenciados entre las diversas posibilidades estudiadas.

Tabla 8.1. Número de unidades productivas necesarias (tecnologías convencionales)

Materia prima y tecnología	Caña miel pobre	Caña miel rica	Caña jugo directo	Maíz vía seca
Capacidad (m^3/día)	150	150	450	500
Inversión industrial por unidad (mil US$)	15,000	15,000	50,000	61,000
Producción anual (m^3/año)	27,090	27,090	81,270	150,500
Escenario	**Número de módulos**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	16	16	6	3
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	34	34	12	7
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	144	144	48	26

Tabla 8.2. Número de unidades productivas necesarias (tecnologías innovadoras)

Materia prima y tecnología	Caña jugo + hidrólisis	Sorgo	Yuca	Remolacha
Capacidad (m^3/día)	551	150	150	150
Inversión industrial por unidad (mil US$)	150,000	20,000	20,000	20,000
Producción anual (m^3/año)	99,556	32,250	32,250	32,250
Escenario	**Número de módulos**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	5	13	13	13
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	10	29	29	29
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	40	121	121	121

Tabla 8.3. Inversión industrial total (tecnologías convencionales)

Materia prima y tecnología	Caña miel pobre	Caña miel rica	Caña jugo directo	Maíz vía seca
Escenario	**Inversión industrial (millones de US$)**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	240	240	300	183
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	510	510	600	427
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	2,160	2,160	2,400	1,586

Tabla 8.4. Inversión industrial total (tecnologías innovadoras)

Materia prima y tecnología	Caña jugo + hidrólisis	Sorgo	Yuca	Remolacha
Escenario	**Inversión industrial (millones de US$)**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	790	325	585	390
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	1,580	725	1,305	870
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	6,320	3,025	5,445	3,630

De acuerdo a lo esperado, coherentemente a los previos estudios de costos de capital para la producción de etanol, las inversiones más bajas se asociaran a tecnologías conocidas. El maíz se destaca en ese sentido, principalmente por el largo período de utilización de la unidad industrial, posible debido al almacenamiento de los granos y operación durante todo el año. Luego vienen las destilerías anexas a ingenios azucareros, adonde la inversión más importante,

para extracción del jugo de la caña, ya está hecha. En seguida se presentan las destilerías autónomas. La alternativa de más alto costo es la producción por jugo directo asociada a hidrólisis de residuos celulósicos, que implicaría en inversiones más que 4 veces más elevadas, comparativamente al caso del maíz.

Se estima que el efecto de escala en las inversiones para producción de etanol puede ser importante y explica la tendencia de crecimiento de las capacidades unitarias instaladas. Particularmente para el caso del maíz, se consideró que triplicar la capacidad de una planta puede llevar a reducciones de costo entre 15 y 20% (Henniges, 2003). Así, caso se implementen capacidades instaladas más elevadas, pueden ser esperadas menores inversiones.

Tabla 8.5. Superficie de cultivo requerida (tecnologías convencionales)

Materia prima y tecnología	**Caña miel pobre**	**Caña miel rica**	**Caña jugo directo**	**Maíz vía seca**
Productividad agrícola (t/ha)	61	61	61	10
Productividad industrial (litro/t)	8.8	17.1	80	398
Escenario	**Superficie de cultivo (miles de ha)**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	767	395	84	103
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	1,698	874	187	229
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	7,260	3,736	799	979

Tabla 8.6. Superficie de cultivo requerida (tecnologías innovadoras)

Materia prima y tecnología	**Caña jugo + hidrólisis**	**Sorgo**	**Yuca**	**Remolacha**
Productividad agrícola (t/ha)	61	40	14	51
Productividad industrial (litro/t)	98	35	170	86
Escenario	**Superficie de cultivo (miles de ha)**			
1. Sustitución de la producción nacional de MTBE por ETBE	69	294	173	94
2. Sustitución total de los éteres por etanol a 5,7% en volumen	153	651	383	208
3. Mezcla de 10% de etanol en volumen en toda gasolina del país	652	2,784	1,637	889

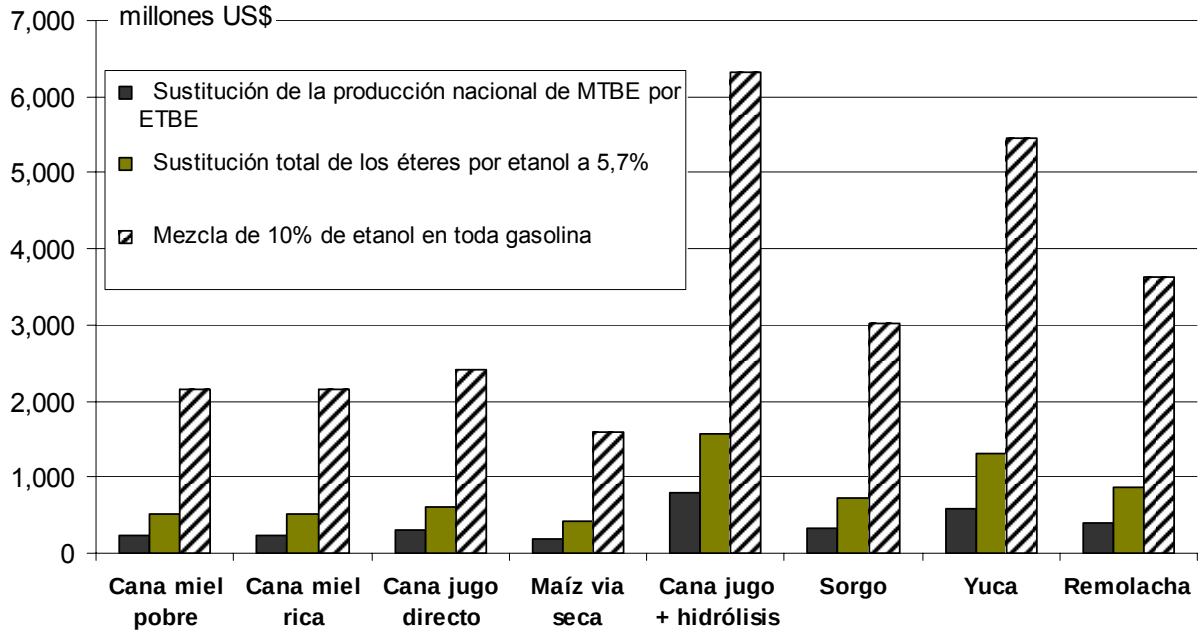


Figura 8.1. Inversiones industriales necesarias

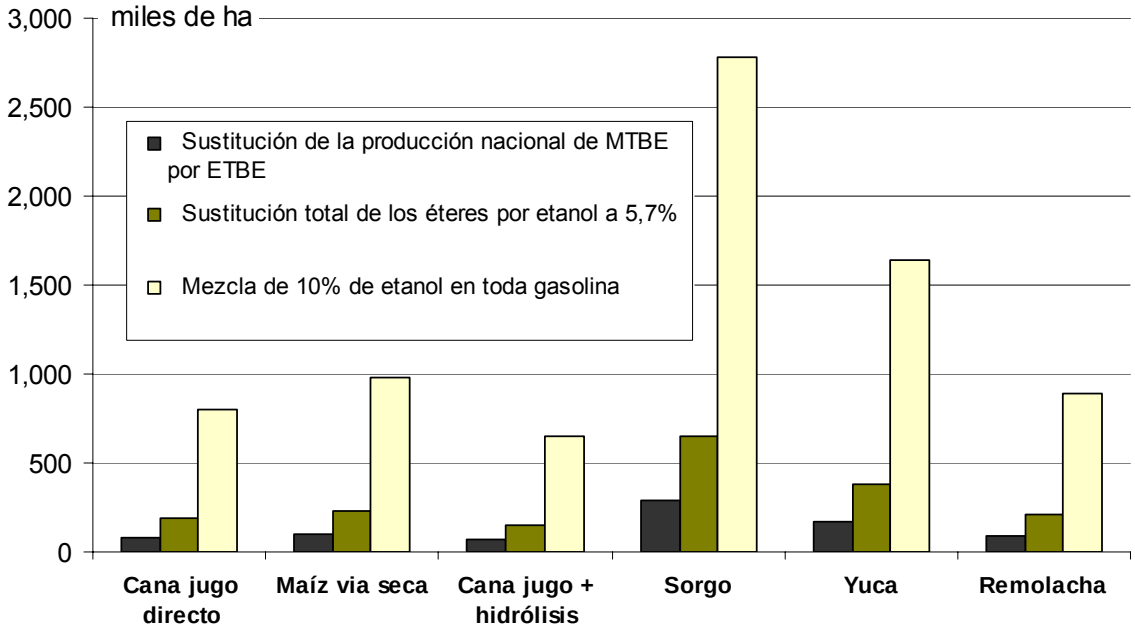


Figura 8.2. Superficies de cultivo necesarias para producción de etanol

Como la utilización de las melazas corresponde al aprovechamiento de un coproducto de la fabricación del azúcar, no hay mucho sentido en estimar el área necesaria a ser cultivada en ese caso. Es interesante observar que, considerando el escenario de demanda más elevada, con una mezcla de 10% en toda la gasolina, la opción caña/jugo directo implica en aproximadamente doblar el área plantada, cerca de 600 mil ha. En esa evaluación se adoptó una productividad de 61 t/ha, que puede ser considerada relativamente conservadora, ya que el rendimiento medio nacional en 2005 fue 75 t/ha (Lazcano, 2006). En el caso que se considere el maíz como materia prima, para ese mismo escenario, seria necesario incrementar en 12% el área actualmente sembrada de 8 millones de ha (FAOSTAT, 2006). Cabe observar también que en ese caso la productividad adoptada para el maíz fue de 10 t/ha, mientras la productividad media mexicana, en 2004, fue 2.77 t/ha.

8.2. Análisis económico de la producción y utilización de etanol

Tomando los costos de producción del etanol para los diferentes contextos estudiados (presentados en la Tabla 5.9) y asumiendo un precio de venta al nivel de los precios de paridad, es posible evaluar económicamente esa agroindustria energética. Obsérvese que el precio de las materias primas fue definido con base a costos de producción y los demás costos se refieren a módulos productivos basados en situaciones reales, en la extensión posible.

Como indicador de sostenabilidad económica, se determinó el resultado final neto de la actividad productiva, expresado en dólares por litro de etanol producido, considerando adicionalmente los siguientes parámetros para los cálculos, en un escenario de referencia: tasa de descuento de 12%, vida económica útil de 10 años, un factor de depreciación de 10% anual y una tasa de impuestos de 28% sobre el resultado bruto. La energía eléctrica y el gas natural fueran valorados respectivamente a 150 US$/MWH y 5.50 US$/MJ. Para los precios del etanol, fueran evaluados tres casos: 0.45, 0.55 y 0.65 US$/litro, siendo los dos primeros los extremos del rango de precios de paridad estudiados anteriormente y el valor más elevado como un ejercicio suponiendo un subsidio o compensación fiscal por las externalidades. Vale comentar que ese nivel de precio es representativo de los valores practicados en el mercado americano de etanol durante los meses de abril a junio de 2006 (Kelly, 2006). Bajo esas condiciones, se obtuvo la Figura 8.3, indicando como la atractividad de la producción de etanol depende fuertemente del precio de su producto, como se podría esperar.

Buscando complementar el análisis precedente, para las tecnologías asociadas a la caña y el maiz, se efectuó un breve estudio de sensibilidad del costo del etanol frente a variaciones de los principales parámetros que afectan ese valor, como las inversiones y los costos de energía, como presentado en las Figuras 8.4 y subsecuentes. Por supuesto que para costos distintos de los costos de referencia, se alteran proporcionalmente los indicadores de factibilidad. Así, esos gráficos permiten evaluar cuales podrían ser los aspectos prioritarios a tener en cuenta para mejorar los indicadores de una tecnología eventualmente todavía poco atractiva en términos económicos.

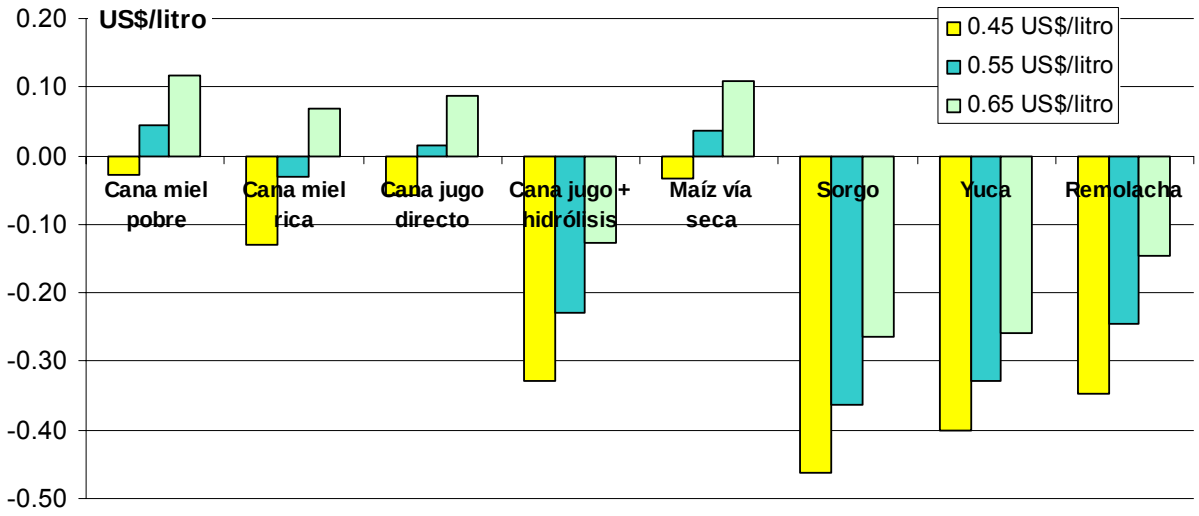


Figura 8.3. Resultado neto de la producción de etanol, para las materias primas y tecnologías estudiadas, en el escenario de referencia

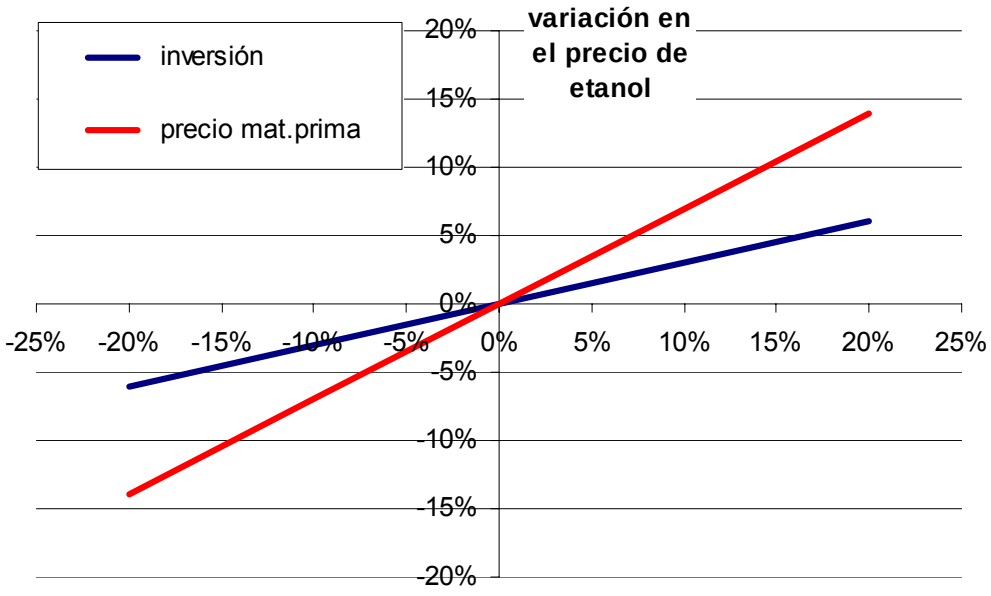


Figura 8.4. Sensibilidad del costo del etanol producido de miel pobre de caña

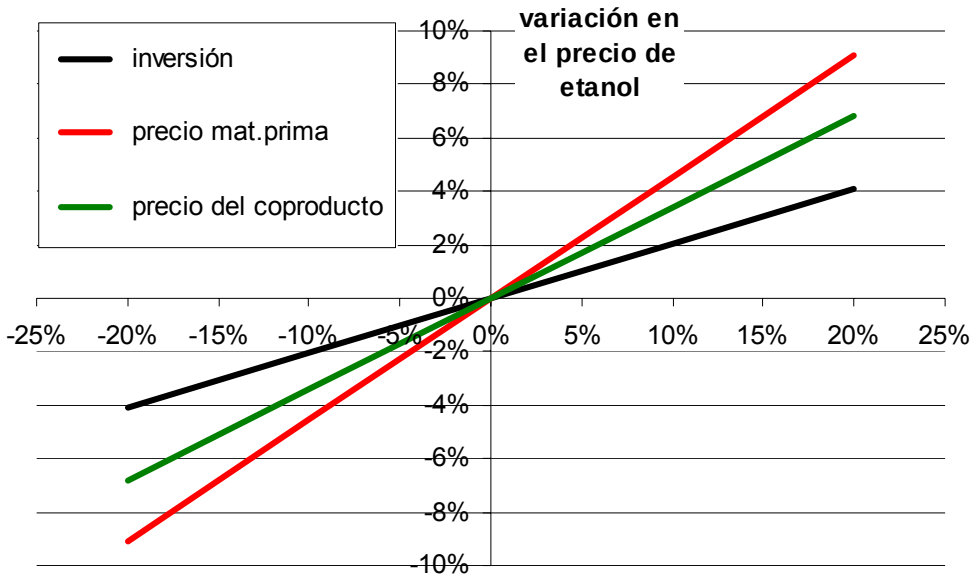


Figura 8.5. Sensibilidad del costo del etanol producido de miel rico de caña (azúcar es el coproducto)

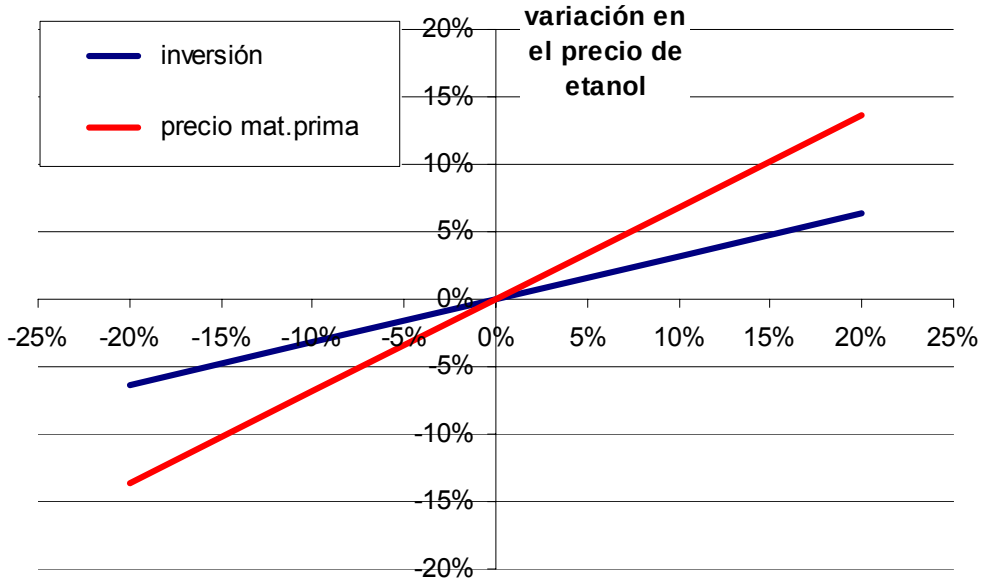


Figura 8.6. Sensibilidad del costo del etanol producido de jugo directo de caña

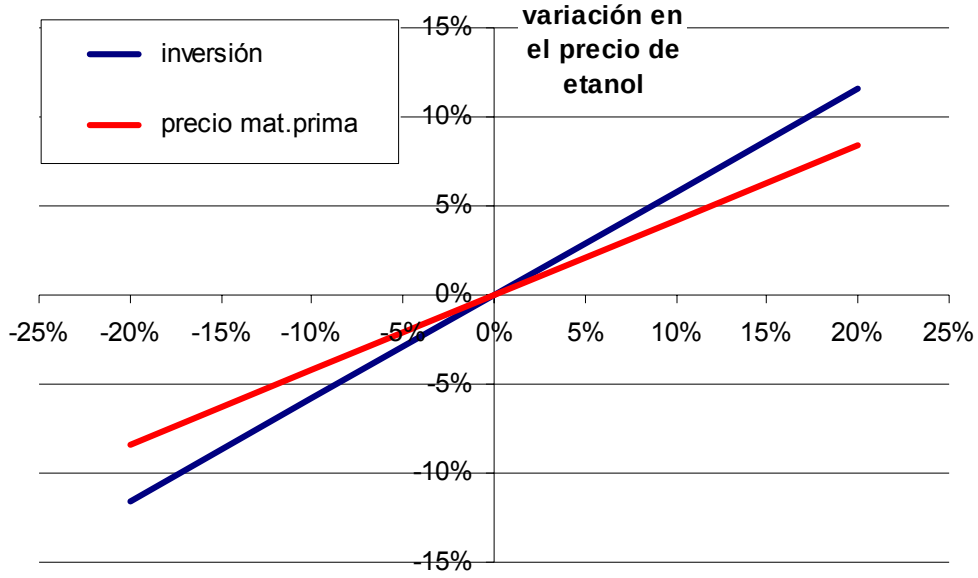


Figura 8.7. Sensibilidad del costo del etanol producido de jugo directo de caña más hidrólisis de los residuos celulósicos

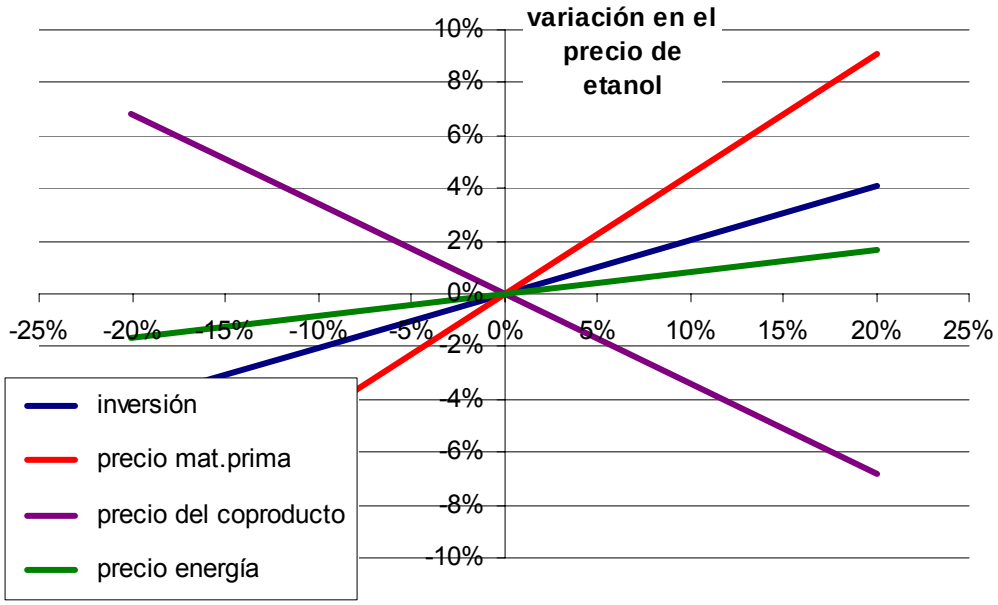


Figura 8.8. Sensibilidad del costo del etanol producido de maíz vía seca

En las gráficas anteriores se observa como, de una manera general, variaciones en el precio de la materia prima afecta bastante el precio final del etanol. Eso es más evidente para los contextos adonde la inversión no es tan relevante, sea porque se trata de una destilería anexa, casos del uso de las mieles, sea porque el factor de utilización reduce el peso relativo de las inversiones, como para el maíz. Para el caso en que se incluye la hidrólisis, ocurre exactamente al revés, con las inversiones siendo el factor más importante. Otro punto a comentar es la manera como los coproductos afectan: para la miel rica de caña, el azúcar que se deja de producir es una perdida, y por lo tanto, altos precios significan mayores perdidas, mientras para el maíz, buenos precios para el DDG representan un descuento adicional en el precio, sin indicar impactos relevantes.

Concluyendo el capítulo, un comentario metodológico. Las inversiones presentadas reflejan únicamente los costos de capital para la planta agroindustrial y no consideran los costos agrícolas, de desarrollo de plantaciones, evidentemente necesarios para promover la producción de materia prima. Estos costos están contabilizados en la formación del precio de la materia prima, cuyo precio debe tomar en cuenta todos los costos efectivamente incurridos. De esa forma, es correcto y más sencillo adoptar la biomasa utilizada a precios exógenos y considerar como un insumo de producción. Sin embargo, es interesante reconocer que la formación de campos de cultivo, incluyendo por ejemplo preparación de suelo, eventualmente obras de drenaje o riego, puede representar costos significativos. Como una referencia que indica la magnitud relativa de tales costos, en Brasil, las inversiones permanentes para producción de caña son consideradas como formación de capital fijo agrícola y valen 47% de las inversiones industriales (Consecana, 2006). Igualmente podrían ser consideradas las inversiones aguas abajo del proceso productivo de etanol, asociadas al almacenamiento y logística, pero son relativamente reducidas frente a los costos usuales en la movimentación de combustibles.

9. Conclusiones

México presenta condiciones adecuadas para promover la producción y uso de etanol combustible, con potenciales ventajas económicas, sociales y ambientales. Desde el punto de vista de la demanda, la adopción del etanol ofrece la posibilidad de sustituir o disminuir el consumo de gasolina y componentes oxigenantes (MTBE y TAME), productos importados en volúmenes crecientes[5]. Además, esos aditivos son compuestos ambientalmente cuestionados y progresivamente prohibidos en diversos estados de Estados Unidos. Por el lado de la oferta, condiciones favorables de clima y disponibilidades de tierra, conjugadas a oportunidad de dinamizar actividades agroindustriales y mejorar la participación de fuentes renovables en la matriz energética, son algunos de los factores que tienden a impulsar el etanol combustible en la realidad mexicana.

En los estudios desarrollados en los párrafos anteriores para caracterizar las necesidades y disponibilidades prospectivas de etanol, fueran considerados diversas materias primas y tecnologías de conversión, determinándose los costos e inversiones unitarias respectivas, que permitirán estimar los requerimientos de área cultivada, número de unidades de producción e inversiones, frente a tres escenarios de demanda de etanol. De una manera general, la caña de azúcar, como miel pobre y jugo directo, y el maíz (con elevada productividad) en proceso vía seca presentaran costos más bajos. Obsérvese que estos casos corresponden a tecnologías convencionales y conocidas. Los casos evaluados de materias primas innovadoras y procesos en desarrollo presentaran indicadores económicos con baja competitividad.

Para los tres escenarios de demanda de etanol, se estimó una demanda de 412 mil m^3/año para sustitución de la producción local de MTBE por ETBE, 912 mil m^3/año para sustitución total de MTBE por etanol por etanol en 44% de la gasolina utilizada en México y 3,897 mil m^3/año para mezcla de 10% de etanol en toda la gasolina del país. Para dar una idea de los resultados cuanto a producción de etanol, para el escenario de demanda más alta y considerando respectivamente la caña de azúcar (jugo directo) y el maíz como materias primas, serian requeridas aproximadamente 800 mil y 980 mil hectáreas, con inversiones de 2,400 y 1,586 millones de dólares en las plantas agroindustriales. A ese nivel de producción, el ahorro de divisas anual seria, a precios actuales, de 1,754 millones de dólares.

Asumiendo precios para el etanol al nivel de paridad con otros productos de la industria azucarera, se constata que el biocombustible producido a partir de caña y maíz mediante procesos convencionales presenta competitividad económica frente a los precios recientes y corrientes de la gasolina y del MTBE. Particularmente para el etanol de caña, esta competitividad es clara para el etanol producido a partir de melazas, depende de la configuración de precios para el etanol sustituyendo azúcar producido a precios de mercado abierto y ciertamente no existe para el etanol remplazando azúcar vendido a precios de los mercados preferentes.

Cabe observar que las conclusiones relativas a costos de etanol a partir de jugo directo y maíz se basan en materias primas evaluadas a su costo agrícola, al nivel de factores de producción. En el caso que se tome la materia prima a precios de mercado mexicano (por ejemplo el precio

[5] Cabe recordar que en el Escenario 1, se propone reducir la producción nacional de MTBE, no sustituir la importación de ese componente.

KARBE para la caña), resulta un costo de producción para el etanol significativamente más elevado, que solamente con soporte fiscal podría alcanzar competitividad, ya que estaría típicamente por arriba de los precios de paridad frente a los combustibles convencionales.

En el estudio de sensibilidad efectuado sobre los precios del etanol se observó que la materia prima influye mayormente, seguida de las inversiones efectuadas en la unidad agroindustrial. Es interesante notar que para el maíz, los costos más elevados de la materia prima comparativamente a la caña, la más demorada utilización de la unidad agroindustrial al largo del año llevó a resultados finales semejantes, para el costo del etanol.

Los estudios realizados dejan algunas respuestas y nuevas cuestiones. Un primer tema a ser explorado y definido se refiere a las materias primas a utilizar para producción de etanol. Entre las diversas posibilidades se destacan las melazas, el jugo directo de caña y el maíz, por su productividad, costos y conocimiento agronómico en México. Por los resultados económicos no es posible afirmarse categóricamente que la caña representa una opción superior al maíz, no obstante la menor disponibilidad de tierras bajo riego, la importancia en usos alimentarios y la dependencia de maíz importado sean aspectos estratégicos a reducir el interés en ese cultivo para fines bioenergéticos. Además, para el maíz se adoptaran indicadores bastante optimistas, comparativamente a los adoptados para la caña. Otros cultivos también pueden ser considerados, pero siempre en nichos específicos pues todavía carecen de mejor fundamentación y los resultados obtenidos no son exactamente estimulantes. En síntesis, sobre esto punto, es importante enfocar las materias primas de manera no restrictiva pero teniendo en cuenta experiencias previas y datos económicos.

La cuestión anterior incide necesariamente en los precios de las materias primas, un tema crucial para el sustentado desarrollo del etanol en México. Por gran participación en los precios finales y por ende en la competitividad, es esencial establecer maneras de ampliar la producción de materias primas a bajos precios, mediante incrementos de productividad y otros mecanismos, sin los cuales la sostenabilidad económica del etanol en México estará siempre perjudicada.

El presente estudio por supuesto que no agotó el amplio y complejo tema de las necesidades y potencialidades del etanol en la matriz energética mexicana. Seguramente otros y más detallados trabajos deban ser realizados a partir de esa base, sin embargo ya es posible discernir que México presenta elementos relevantes que favorecen esa evolución energética y visualizar que, temprano o tarde, los mexicanos estarán utilizando combustibles renovables. En ese sentido es vital preparar desde ahora la introducción progresiva de la producción y uso del etanol en bases consistentes, mirando su efectiva sostenabilidad.

Bibliografía

ABAM, 2006, "Álcool de mandioca atrai investimentos", **Revista da Associação Brasileira de Produtores de Amido de Mandioca**, Paranavaí, Vol 4, nº 13

Almazán, O y González, L. (ICIDCA), 1999, "Estudio de alternativas de materias primas, fuentes de energía y recursos tecnológicos para la producción de alcohol carburante en el sector azucarero y su impacto en la industria cubana de azúcar y derivados", **Proyecto Promoción de Programas de Alcohol Carburante: reporte final**, FCPB - Fondo Común de Productos Básicos, OIA - Organización Internacional del Azúcar y GEPLACEA - Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar, São Paulo

Anderson, I.C., 2002, **Ethanol from Sweet Sorghum,** Iowa Energy Center, disponible en www.energy.iastate.edu/renewable/biomass/cs-anerobic2.html, consultado en mayo de 2006

ANUR, 2005, "Producción de Etanol con Caña de Azúcar", **Estrategia para áreas de riego con Modernización Integral**, Asociación Nacional de Usuarios de Riego, México, D.F

ASAZGUA, 2006, **Fabricación de Azúcar**, Asociación Azucarera de Guatemala, www.asazgua.com.gt, consultado en mayo de 2006

Assis, P., 2006, Cogeneración de Energía en Ingenios Azucareros, presentación en el **Encontro Interamericano sobre Biocombustibles**, MAPA/IICA, São Paulo

Badger, P.C., 2002, "Ethanol from cellulose: a general review" in: J. Janick and A. Whipkey (eds.), **Trends in new crops and new uses**, ASHS Press

CEFP, 2005, Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la H. Cámara de Diputados, disponible en www.cefp.gob.mx, consultado en mayo de 2006

CEPAL, 2004, **Perspectivas de un Programa de Biocombustibles en América Central** y **Aspectos complementarios para la definición de un Programa de Bioetanol en América Central** (preparados por Horta Nogueira, L.A.), Proyecto CEPAL/GTZ Uso Sustentable de Hidrocarburos, México, D.F.

CEPAL, 2006, **Costos y precios para etanol en Centro América,** (preparado por Horta Nogueira, L.A.), Proyecto CEPAL/Gobierno de Italia, México, D.F.

CGEE, 2006, **Projeto Etanol,documento preliminar**, Centro de Gestão de Estudos Estratégicos, Brasília

Chaves Solera, M., 2003, citación en el XV Congreso de ATACORI, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica, San José, septiembre de 2003

Chaves Solera, M., 2004, **La Caña de Azúcar como materia prima para la Producción de Alcohol Carburante**, DIECA/LAICA, Costa Rica

CNIAA, 2006, **Manual Azucarero Mexicano 2006**, Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera, México, D.F.

COAAZUCAR, 2005, **Desarrollo Operativo Histórico de Campo-Fabrica 1988/2004**, Comité de la Agroindustria Azucarera, www.coaazucar.org.mx, consultado en mayo de 2006

Consecana, 2006, **Revisão Consecana- Resultado Final**, Documento de trabalho**,** Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo

DOE, 2006, **Annual Energy Outlook 2006**, Department of Energy, Report #:DOE/EIA-0383, Washington

EIA/DOE, 2006, Energy Information Administration , Departament of Energy, www.eia.doe.gov, consultado en junio de 2006

El Sayed, M.A., Matthews, R., Mortimer, N.D., 2005, Production of Ethanol from Sugar Beet (Appendix Q), **Carbon and Energy Balance for a range o f Biofuels options**, DTI Project B/B6,/00784, URN 03/083, London

ERS/USDA, 2006, **Sugar and Sweeteners: Data Tables**, Economic Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, http://www.ers.usda.gov/briefing/sugar/data.htm, acesado en julio de 2006

F.O.Licht, 2005, **International Sugar and Sweetener Report**, Vol.137, no. 27

F.O.Licht, 2006, **World Molasses & Feed Ingredients Report**, Vol.4, No. 9, January

FAOSTAT, 2006, FAO, disponible en www.fao.org, consultado en mayo y junio de 2006

Fidel Flores Cotera, F. (PEMEX), 2006, Presentación para los consultores del proyecto en PEMEX Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación en 16/03/2006, México, D.F.

Finguerut, J., 2005, Simultaneous production of sugar and alcohol from sugarcane, **Proceedings of the XXV Congress of ISSCTnternational Society of Sugar Cane Technologists,** International Society of Sugar Cane Technologists, Guatemala, 2005

Finguerut, J., 2006, Sugar and alcohol integration in Brasil, **Encontro Interamericano de Biocombustíveis**, IICA y Ministério da Agricultura, São Paulo

FSA/USDA, 2006, **Price Support Programs: Crop Corn, Grains Sorghum and Soybeans**, Farm Service Agency, United States Department of Agriculture, Washington, 2006

Fundación Emisión, 2005, **Feasibility Study for Ethanol Production in Mexico from Maize and Sugar Cane**, BBI International Consulting, México

Furey, R.L., 1985, Volatility Characteristics of Gasoline-Alcohol and Gasoline-Ether Fuel Blends, **SAE Paper 852116**

García, R., 2006, Profesor de la Universidad Veracruzana, informaciones personales en Febrero de 2006

GEPLACEA, IICA, OLADE, 1984, **Experiencia y Perspectivas en América Latina sobre Alcohol Carburante**, editores Campodónico, M., Diaz, M.A., Veras, A.I., Cáceres, R., México D.F.

Goldemberg, J., 1996, "The Evolution of Ethanol Costs in Brazil", **Energy Policy**, vol. 24, p.1127-1128

Gómez Fuster, I., 1998, **Proyecto Yucalcol** (Desarrollo Agroindustrial com Aprovechaminto de las Biomasas Agrícolas Tropicales), Yucalcol SA de CV, México, D.F.

Gulati, M. et alli., 1996, “Assessment of ethanol production options for corn products”, **Bioresource Technology**, Vol 5, Elsevier Press

Henniges, O. (Universitat Hohenhein, Department of Agricultural Economics), información personal, junio de 2006

Henniges, O., Zeddies, J., 2003, **Fuel ethanol production in the USA and Germany - a cost comparison**, F. O. Licht's World Ethanol and Biofuels Report, Vol 1, No. 11

Howeler, R., 2003, **Cassava in Asia: Present Situation and its Future Potential in Agro-Industry**, CIAT Cassava Office for Asia, Departament of Agriculture, Bangkok

Hurt, C., 2006, "Ethanol and Animals in The Eastern Corn Belt: The New Dynamics", **Weekly Outlook,** February 2006, Purdue University and University of Illinois

ICRISAT, 2004, **ICRISAT develops sweet sorghum for ethanol production**, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics Report, disponible en www.icrisat.org/media/2004/media13.htm, consultado en mayo de 2006

IEA/EET, 2005, **Biofuels for Transport: An International Perspective,** International Energy Agency, Paris

INEGI, 2005, Banco de Información Económica y Comité de la Agroindustria Azucarera, según Poy, M.E., 2005

InfoAgro, 2006, Proceso General de Fabricación de Azúcar, in **El cultivo de la remolacha azucarera**, disponible en www.infoagro.com/herbaceos/industriales/industriales.asp, consultado en mayo de 2006

Keawsompong, S. et alli., 2003, **Ethanol Production from Cassava Chips: Simultaneous Saccharification and Fermentation Process**, disponible en http://knowledge.biotec.or.th, consultado en mayo de 2006

Kelly, S., 2006, "Ethanol supplies taut as refiners drop MTBE", **Ethanol Producers Magazine**, June, disponible en www.ethanolproducer.com/article.jsp?article_id=2067, consultado en julio de 2006

Lazcano, I., 2006, **Ethanol Feedstock** (Borrador final), Documento de trabajo del Proyecto Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID

Leonel, M. et alli., 1999, "Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas"**, Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, vol.19 n.2, Campinas

Macedo, I. C., 2000, Commercial Perspectives of Bioalcohol in Brazil**, 1st. World Conference on Biomass for Energy and Industry,** Sevilla

Macedo, I.C., 2005, **Biomass as a Source of Energy,** Report prepared for the InterAcademy Council study on "Transitions to Sustainable Energy Systems", draft

Macedo, I.C., Leal, M.R.L.V., Hassuani, J.S., 2001, Sugar Cane Residues for Power generation in the Sugar / Ethanol Mills in Brazil, **Energy for Sustainable Development,** v. 5, n. 1, p. 77-82, 2001

McAloon, A. et alli, 2000, **Determining the Cost of Producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks,** Report NREL/TP -580-28893, October 2000

MINAE, 2005, Avances Plan Piloto de Gasohol en Costa Rica, **I Encontro Interamericano de Biocombustíveis,** MAPA/IICA , São Paulo

Morgan, O., **IEA forecast of future oil price rises by a third,** The Guardian, 6/11/2005

Nan, L., Best.G. and Carvalho Neto, C.C., 1994, **Integrated energy systems in China - The cold Northeastern region experience**, FAO, Rome

Nastari, P.M., 2005, Etanol de Cana de Açúcar: o combustível de hoje, **Seminário PROÁLCOOL- 30 anos depois,** Agência Estado - Única, São Paulo, Novembro 2005

NYBOT, 2006, **NYBOT Markets: Sugar**, New Cork Board of Trade, www.nybot.com, consultado en mayo de 2006

Oliverio, L, 2006, informaciones personales sobre tecnología e inversiones en destilerías de etanol, Piracicaba

Oliverio, L., 2005, **Processo DHR - Dedini Hidrólise Rápida**, Dedini Indústrias de Base, Piracicaba

PEMEX, 2004, **Mecanismos de Precios de Gasolina y Diesel en México**, Gerencia de Evaluación de Operaciones, Dirección Corporativa de Operaciones, México, D.F.

PEMEX, 2005, **Etanol de origen agrícola como oxigenante para combustibles**, presentación de Bueno T, J en el Foro: Etanol, Caña de Azúcar, SAGARPA, Noviembre de 2005

PEMEX, 2006, **Pronóstico de Ventas de gasolinas y diesel, 2006-2014**, Gerencia de Evaluación de Operaciones, Dirección Corporativa de Operaciones, México, D.F.

Poy, M.E, 2005, "Prospectiva de la Competitividad de la Producción Azucarera en México y Alternativas", Foro: **La Competencia Económica del Sector Agropecuario Mexicano en el Ámbito del Libre Comercio**, México, D.F.

Poy, M.E., 1998, "Representa el etanol una alternativa viable para la agroindustria de la caña de azúcar?", **Revista Ingenio**, CNIAA, Octubre de 1998

Poy, M.E., 2005A, "Retos y Perspectivas de la Agroindustria de la Caña de Azúcar Nacional bajo las Condiciones de Transición Imperantes", **Capacitación para la Competitividad en Fábricas de Azúcar,** Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ, Queretaro

Prakash, C., 1998, **Use of Higher than 10 volume percent Ethanol/Gasoline Blends In Gasoline Powered Vehicles**, Transportation Systems Branch/Air Pollution Prevention Directorate/Environment Canada

Presidencia de la República, 2005, **Exportará México 100 mil toneladas de azúcar a EU sin arancel**, disponible en www.presidencia.gob.mx/buenasnoticias/?contenido=22573, 18 de Diciembre de 2005

Quintero, L.E. et al., **Costos de Producción de Yuca en Colombia**, Observatorio Agrocadenas Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, 2004

Rains G.C. et al., 2005, "Sweet Sorghum for a Piedmont Ethanol Industry", **New Crops**, Wiley, New York

RIRDC, 2005, **Preliminary feasibility of ethanol production from sugar beet in NE Tasmania**, Rural Industries Research and Development Corporation, Publication No 05/012

Rodríguez, N., 2006, **México´s Energy Picture** (Borrador final), Documento de trabajo del Proyecto Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID

Rossel, C.E.V., 2005, **Hidrólise do bagaço**, Grupo Energia, Projeto Etanol, NIPE, Universidade Estadual de Campinas, Campinas

SAGARPA, 2004, **Economía del Etanol**, Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios, México, D.F.

Sánchez O..J., Carlos Ariel Cardona, C.A., 2005, **Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas,** INCI v.30 n.11, Caracas

SEMARNAT, 2006, **Especificaciones adicionales de Gasolinas por Región (Tabla 6)**, Normativa 086, SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para protección ambiental, publicada en 30 de enero de 2006

SENER, 2005, **Prospectiva sobre la Utilización de las Energías Renovables en México: Una Visión al Año 2030**, Secretaría de Energía, Subsecretaria de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, México, D.F.

Sun, Y., Cheng, J., 2002, "Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review", **Bioresource Technology**, vol 83, Elsevier Press

Terciote, R., "Análise e Estimativa dos Impactos Econômicos do Investimento na Implementação de Usinas de Cana de Açúcar", **V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético,** Brasília, 2006

TEREOS, 2006, **Bio-Ethanol**, http://www.tereos.com, consultado en mayo de 2006

Trindade, S., 1985, **Fuel Ethanol Issues in Thailand: Ethanol Production, Stillage Disposal and Market Penetration**, Report to UN/DTCD (draft), New York

Venturi, P., Venturi, G., 2003, "Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems", **Biomass and Bioenergy**, 25, pg. 235 – 255.

Worldwatch Institute, 2006, **Biofuels for Transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century**, prepared for the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV), in cooperation with the Agency for Technical Cooperation (GTZ) and the AAgency of Renewable Resources (FNR), Washington, D.C.

Ximena, C. (ECOPETROL), **Programa de Alcohol Carburante en Colombia**, ASOCAÑA, Bogotá, 2004

Yancey, M., "Project Development in a Booming Ethanol Industry", **Joint Forum on Biomass, Biofuels and Bioproducts,** University of California, Davis/California Institute of Food and Agricultural Research, CIFAR Research Conference XXI, 2006

Anexo 1.

Procesamiento y transformación de la caña en azúcar y etanol

(adaptado de AZAGUA, 2006)

1. Recepción y Lavado

Una vez que la caña de azúcar llega al patio de recepción en el ingenio es descargada y el exceso de tierra y piedras son removidos mediante el lavado de la caña. Esta etapa es intensiva en el consumo de agua y uno de los puntos críticos de contaminación de no tomarse las medidas para la recuperación y ahorro del agua utilizada, especialmente si se descarga sucia a los ríos. Se lava la caña para eliminar las impurezas y materia extraña como tierra que le resta pureza y color al azúcar refinado y disminuye el rendimiento de azúcar por tonelada de caña molida.

2. Molienda o trapiche

Luego la caña lavada pasa a cuchillos picadores que reducen el tamaño de la estaca, pasando entonces por los molinos que separa el bagazo del jugo o guarapo de caña. El bagazo es aprovechado por los ingenios como fuente de combustible para las calderas que suplen las necesidades energéticas del proceso, pudiendo lograr la autosuficiencia de energía y incluso generar excedentes.

3. Clarificación

El jugo que lleva un color verde oscuro, es ácido con un grado de turbidez, pasa al clarificador donde se remueven las impurezas solubles e insolubles. El proceso emplea cal, cerca de medio kg por tonelada de caña, neutralizando la acidez. Al calentarse la preparación se coagulan las albúminas, grasas, ceras y gomas y el precipitado atrapa los sólidos que pasan a formar parte de la cachaza que puede ser utilizado como abono orgánico.

4. Evaporación

El jugo clarificado pasa a un proceso de evaporación al vacío donde pierde dos terceras parte de su agua al final de 3 o 4 de las torres de evaporación en serie, que van produciendo un vacío progresivo. El vapor de la última torre va a un condensador donde se puede recuperar agua para las necesidades del procesamiento en el ingenio.

5. Cristalización

El jarabe o meladura (65% sólidos y 35% agua) producido en la evaporación pasa a un tacho donde se evapora al vacío aún más hasta alcanzar el punto de saturación. Se añaden pequeños granos de azúcar al tacho para servir de semilla, del cual sirven de núcleo para la formación de los cristales de azúcar.

6. Centrífugas

La mezcla espesa de miel y cristales de azúcar es conocido como "massecuite" y del tacho pasa a las centrífugas donde se separa la melaza de la azúcar cruda mediante la fuerza centrífuga. La melaza va a los tanques de almacenamiento y su uso final es múltiple (alcoholes, licores, sucroquímicos y pienso animal).

7. Secadores

El azúcar crudo centrifugado pasa a los secadores para eliminar la humedad restante y luego es almacenada en sacos o a granel. El azúcar crudo puede seguir al siguiente paso, cual es la refinación, sin embargo el grueso de la producción se almacena y exporta en este estado.

8. Refinación

En esta etapa se separa y clasifica el azúcar por su calidad y granulometría antes de enviar al consumo nacional o exportación.

9. Fermentación

La fermentación alcohólica puede llevarse a cabo por lotes (80% de los casos en Brasil) o en forma continua. El proceso típico de producción de alcohol a partir de melazas o jugo de caña (proceso Melle-Boinot), comprende la esterilización previa de la materia prima seguida del ajuste del pH con H_2SO_4 y de los azucares a valores de 14-22º Brix. El mosto obtenido se somete a fermentación. El vino resultante se decanta y centrifuga para enviar a destilación, mientras la levadura se recircula a los fermentadores, luego de su reactivación. Durante la fermentación es necesario añadir algunas nutrientes como fuentes de nitrógeno y fósforo para obtener óptimos resultados, siendo los principales sulfato de amonio, urea y fosfato diamónico.

10. Destilación

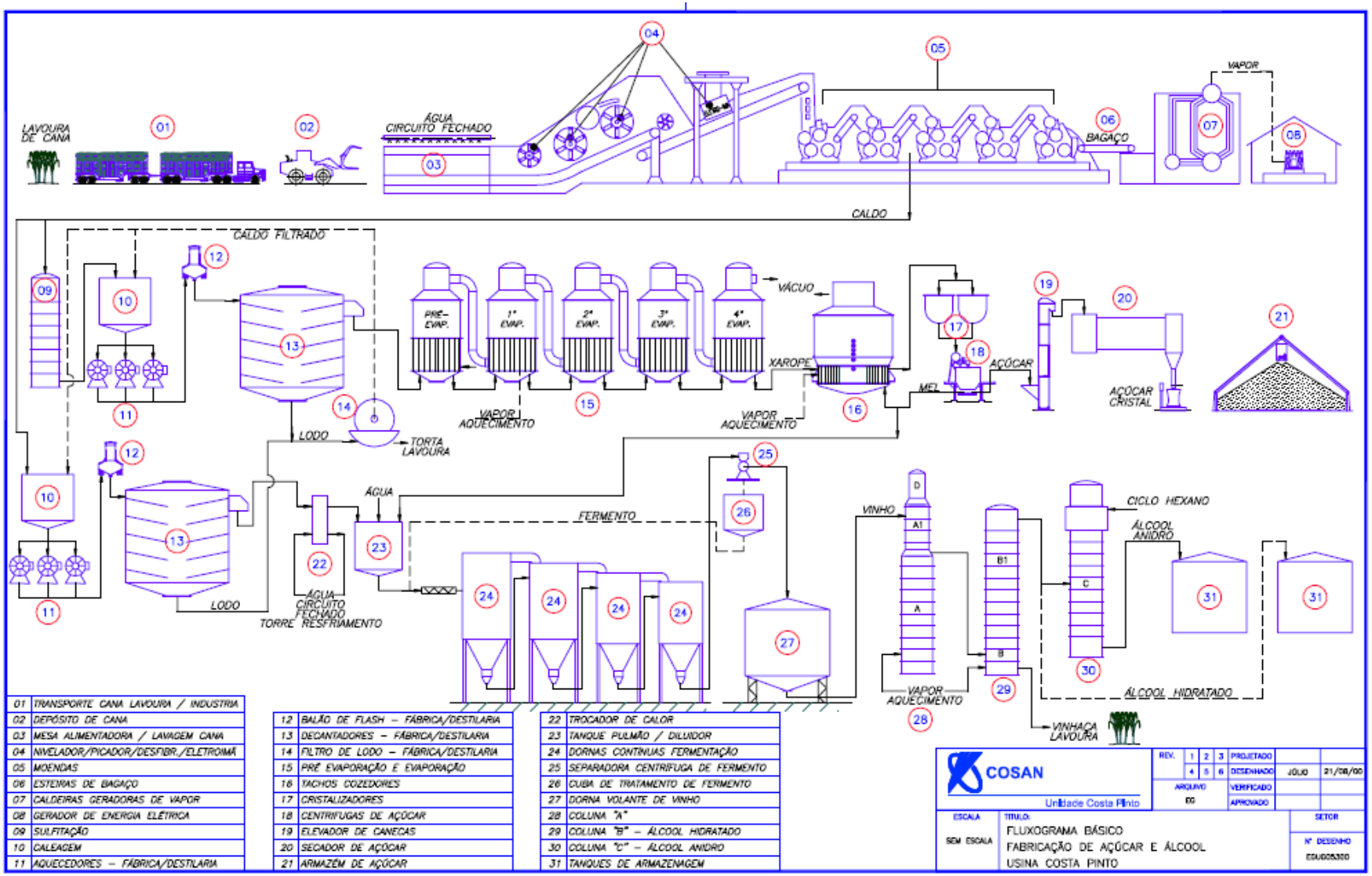
La fermentación produce una solución diluida de etanol en agua de menos 10% en peso de etanol. buscando obtener una concentración más elevada, la separación del etanol del vino se procesa en columnas de destilación que progresivamente concentran la solución alcohólica, hasta el estado azeotrópico (aproximadamente 95,6% en peso de etanol). Un subproducto importante de la destilación es la vinaza, un efluente con alto contenido de potasa que puede ser usado como abono, producido a razón de cerca de 10 a 16 litros por litro de etanol producido.

11. Deshidratación

Debido a que las mezclas de etanol y gasolina deben estar libres de agua para evitar problemas de separación de fases en los tanques de almacenamiento y suministro, el etanol a ser mezclado a la gasolina debe contener menos que 0,5% de agua. En ese caso no es posible utilizar procesos clásicos de destilación, siendo necesario emplear otras tecnologías, como la

destilación azeotrópica empleando benceno, ciclohexano o pentano como agentes de separación o la adsorción por balanceo de presión usando tamices moleculares o monoetileno glicol.

En la próxima página se presenta el esquema de equipos y el flujograma de un ingenio brasileño (Usina Costa Pinto, Grupo COSAN, Piracicaba), evidenciando las etapas anteriores y la producción simultanea de azúcar y etanol. En la actualidad, tal planta utiliza aproximadamente 80% del azúcar de la caña para azúcar y el restante para producción de etanol.



01	TRANSPORTE CANA LAVOURA / INDUSTRIA
02	DEPÓSITO DE CANA
03	MESA ALIMENTADORA / LAVAGEM CANA
04	NIVELADOR/PICADOR/DESFIBR./ELETROIMÃ
05	MOENDAS
06	ESTEIRAS DE BAGAÇO
07	CALDEIRAS GERADORAS DE VAPOR
08	GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA
09	SULFITAÇÃO
10	CALEAGEM
11	AQUECEDORES – FÁBRICA/DESTILARIA

12	BALÃO DE FLASH – FÁBRICA/DESTILARIA
13	DECANTADORES – FÁBRICA/DESTILARIA
14	FILTRO DE LODO – FÁBRICA/DESTILARIA
15	PRÉ EVAPORAÇÃO E EVAPORAÇÃO
16	TACHOS COZEDORES
17	CRISTALIZADORES
18	CENTRÍFUGAS DE AÇÚCAR
19	ELEVADOR DE CANECAS
20	SECADOR DE AÇÚCAR
21	ARMAZÉM DE AÇÚCAR

22	TROCADOR DE CALOR
23	TANQUE PULMÃO / DILUIDOR
24	DORNAS CONTÍNUAS FERMENTAÇÃO
25	SEPARADORA CENTRÍFUGA DE FERMENTO
26	CUBA DE TRATAMENTO DE FERMENTO
27	DORNA VOLANTE DE VINHO
28	COLUNA "A"
29	COLUNA "B" – ÁLCOOL HIDRATADO
30	COLUNA "C" – ÁLCOOL ANIDRO
31	TANQUES DE ARMAZENAGEM

Anexo 2.

Comentarios sobre costos de producción de etanol de caña de azúcar

Es oportuno en los aspectos de costo de producción de etanol empleando caña, mencionar dos comentarios de un estudioso de la industria azucarera centroamericana, Chaves Solera. Al analizar la cuestión de los precios del alcohol para su introducción en el mercado de combustibles de Costa Rica, reforzando la dificultad de conocer valores consistentes de costo para el etanol, dijo que "este resulta ser uno de los puntos más álgidos de cualquier iniciativa de esta naturaleza que se pretenda desarrollar, la cual no es sin embargo exclusiva del país, puesto que otras naciones donde se han adoptado programas con biocombustibles similares también han surgido diferencia entre las partes. La dificultad surge fundamentalmente porque en la definición del precio a pagar por el etanol intermedian varios actores (públicos y privados, institucionales e individuales), y están involucrados además asuntos de índole económica, social, técnica y de infraestructura, que son determinantes", (Chaves Solera, 2003). Los stakeholders tienen que estar involucrados en los procesos decisorios para que haya sostenabilidad de etanol de caña de azúcar en México. En un trabajo presentado en 2003, este mismo investigador presentó una revisión de costos de producción de etanol de caña de azúcar, que muestra una gran dispersión entre los países:

> "Según Echeverri (2003), en Colombia los costos de producción del alcohol obtenidos a partir de la caña de azúcar se estiman entre 0,27 y 0,30 US$/litro. Bonomi (2003) reporta para el caso de Brasil, costos de producción entre 0,20 y 0,19 US$/litro. Cala (2003) señala que en el caso de Colombia, se estiman costos de producción variando entre US$ 0,24 y 0,30 US$/litro. En otros países se reportan (LMC, 2003) como promedio para el periodo 1998-2001, costos de producción muy variables para el alcohol, como acontece en Australia (0,145 US$/litro), Brasil (0,222 US$/litro), Francia (0,386 US$/litro), India (0,261 US$/litro), México (0,185 US$/litro), Tailandia (0,152 US$/litro), USA (0,231 a 0,286 US$/litro)" (Chaves Solera, 2004).

Una indicación del proceso de aprendizaje y la consecuente reducción de los costos en la agroindustrial del etanol en Brasil es presentada en la Figura A.1 indicando como los precios pagados a los productores brasileños de etanol fueran bajando en las últimas dos décadas, mientras se incrementaba la producción acumulada de etanol en el país (Nastari, 2005). Evaluando este período y la reducción de costos observada en Brasil, un experto brasileño apunta como razones básicas los incrementos de 33% en la producción de caña por ha, elevación de 8% en el contenido de azucares de la caña y incrementos de 14% en la conversión de sucrosa para etanol (Macedo, 2000).

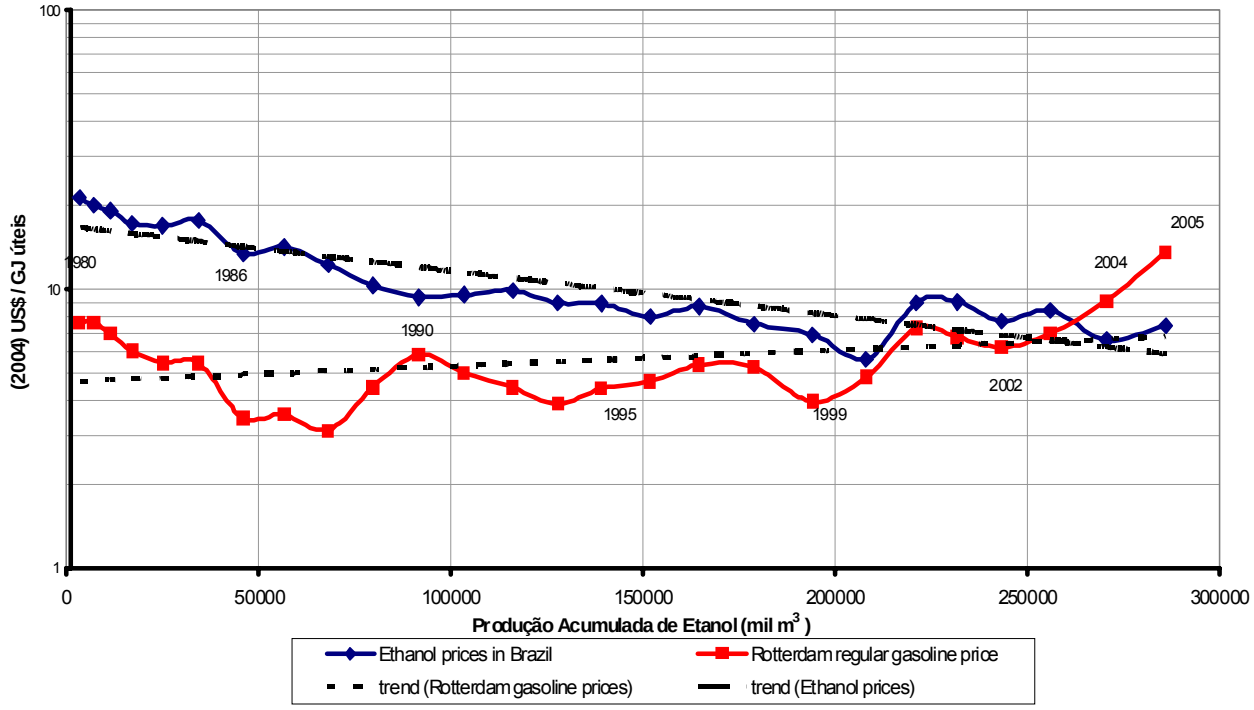


Figura A.1. Evolución de los precios al productor de etanol (CIF) y la producción acumulada en Brasil, para el período 1980 a 2005, frente a evolución del precio de la gasolina.

Finalmente y muy importante, al mencionar los costos del etanol es preciso reconocer que los estudios y datos disponibles consideran solamente los costos económicos directos, sin incluir aspectos más amplios, como pueden ser los costos sociales y ambientales, que constituyen típicamente las externalidades positivas y negativas de este vector energético. Del mismo modo, las diferentes unidades monetarias necesariamente adoptadas en las estimaciones implican asumir tasas de cambio que pueden falsear los resultados del análisis económica, principalmente entre países distintos.

Task 6: Potentials in relation to sustainability criteria

Isaias C. Macedo

gtz

Contents

1. INTRODUCTION 9

1.1 ENERGY SUSTAINABILITY 9
1.2 CONTEXT: THE ETHANOL MARKETS 12

2. IMPACTS IN THE USE OF FOSSIL ENERGY 14

2.1 INTRODUCTION: THE WORLD CONTEXT 14
2.2 SUPPLY AND USE OF ELECTRICITY AND FUELS IN MEXICO 14
2.3 BIO-ETHANOL (AND CO-GENERATED ELECTRICITY) AND ITS IMPACT ON THE ENERGY SUPPLY: THE SUBSTITUTION OF FOSSIL FUELS 15
2.4 ENERGY BALANCES FOR THE SUGAR CANE TO ETHANOL INDUSTRY 17
2.5 ENERGY BALANCE FOR THE CORN TO ETHANOL INDUSTRY 21
2.6 ESTIMATES FOR SORGHUM, BEETS, CASSAVA, OTHER 22
2.7 IMPACTS ON THE ENERGY SECTOR 23
2.8 SUMMARY AND CONCLUSIONS 25

3. IMPACTS ON GLOBAL CLIMATE: GREENHOUSE GAS EMISSIONS 26

3.1 INTRODUCTION; CONCEPTS AND THE WORLD CONTEXT 26
3.2 GREENHOUSE GASES EMISSIONS IN ETHANOL FROM SUGAR CANE PRODUCTION AND USE; ESTIMATES FOR MEXICO 27
3.3 GREENHOUSE GASES EMISSIONS IN ETHANOL FROM CORN PRODUCTION AND USE 28
3.4 GHG EMISSIONS: ETHANOL FROM CASSAVA, SORGHUM, SUGAR BEETS, WHEAT 28
3.5 IMPACTS IN GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN MEXICO 29
3.6 SUMMARY AND CONCLUSIONS 30

4. EMISSIONS AND MITIGATION OF LOCAL ATMOSPHERIC POLLUTANTS FROM GASOLINE – ETHANOL AND ETBE BLENDS 31

4.1 INTRODUCTION 31
4.2 THE EXPERIENCE WITH ETHANOL BLENDS, WORLDWIDE 31
4.2.1 General results 31
4.2.2 Aldehyde emissions 33
4.2.3 The NOx emissions 34
4.2.4 Vapor Pressure of gasoline - ethanol and blends 35
4.3 IMPACTS OF ETBE BLENDS 39
4.4 SUMMARY AND CONCLUSIONS 40

5. EMISSIONS FROM SUGAR CANE BURNING AND BAGASSE BOILERS: POSSIBLE HEALTH EFFECTS, OTHER RISKS 41

5.1 SUGAR CANE BURNING EMISSIONS 41
5.2 BAGASSE BOILER EMISSIONS 42
5.3 SUMMARY AND CONCLUSIONS 43

6. LAND AVAILABILITY; FOOD SECURITY AND ENERGY CROPS 44

6.1 LAND UTILIZATION: THE WORLD CONTEXT 44
6.2 MEXICO'S LAND AVAILABILITY FOR AGRICULTURE 46
6.3 AREAS NEEDED TO SUPPLY THE BIOMASS ETHANOL PRODUCTION IN THE PROPOSED SCENARIOS 48
6.4 AGRICULTURE IN MEXICO; FOOD PRODUCTION 50
6.5 SUGAR CANE IN MEXICO 51
6.6 SUMMARY AND CONCLUSIONS 52

7. WATER UTILIZATION: AGRICULTURE AND INDUSTRY 53

7.1 WATER UTILIZATION IN AGRICULTURE 53
7.2 WATER UTILIZATION IN THE INDUSTRIAL PRODUCTION 54
7.3 SUMMARY AND CONCLUSIONS 55

8. IMPACTS IN WATER SUPPLY: WATER CONTAMINATION WITH THE USE OF ETHANOL - GASOLINE AND ETBE – GASOLINE BLENDS 56

8.1 INTRODUCTION 56
8.2 ETHANOL – GASOLINE BLENDS 56
8.2.1 Effects of ethanol leakage / spillage 56
8.2.2 Ethanol leakage / spillage prevention 57
8.3 ETBE – GASOLINE BLENDS 58
8.4 SUMMARY AND CONCLUSIONS 58

9. STILLAGE UTILIZATION 60

9.1 INTRODUCTION 60
9.2 STILLAGE TREATMENT AND DISPOSITION 62
9.2.1 The ferti-irrigation process (Souza 2005) 63
9.2.1.1 Ferti-irrigation advantages and limitations 64
9.2.2 Stillage Concentration 65
9.2.3 Anaerobic Digestion of Stillage 66
9.2.3.1 Anaerobic digestion processes today 66
9.2.3.2 Anaerobic Digestion systems: experience with stillage 67
9.2.4 Aerobic fermentation of stillage 68
9.3 SUMMARY AND CONCLUSIONS 68

10. PRODUCTION SUSTAINABILITY: THE SUPPLY OF ADEQUATE BIOMASS (GENETIC) MATERIAL AND PRODUCTION TECHNOLOGY 70

10.1 THE AGRICULTURAL PRODUCTION BASE: VARIETIES 70
10.1.1 Sugar cane varieties development in Mexico 70
10.2 TECHNOLOGY AVAILABILITY FOR AGRONOMIC PRODUCTION AND INDUSTRIAL CONVERSION 71
10.3 SUMMARY AND CONCLUSIONS 72

11. ENVIRONMENT: IMPACTS OF FERTILIZERS AND AGRO-CHEMICALS; SOIL EROSION 73

11.1 INTRODUCTION: THE MAIN PROBLEMS 73
11.2 CHARACTERISTICS OF THE CROPS CONSIDERED FOR BIO-ETHANOL IN MEXICO 73
11.3 SUMMARY AND CONCLUSIONS 77

12. ECONOMIC AND SOCIAL IMPACTS 79

12.1 INTRODUCTION 79
12.2 BIOETHANOL COSTS AND NEEDED INVESTMENTS (FROM TASK 5) 79
12.3 OTHER IMPACTS: BALANCE OF PAYMENTS, LOCAL INDUSTRY 80
12.4 IMPACTS ON JOB CREATION 81
12.5 SUMMARY AND CONCLUSIONS 82

Tables

Table 1.1 Ethanol demand for the three proposed scenarios, M m^3 / year

Table 1.2 Preliminary selection: biomass option, water, technologies

Table 1.3 Ethanol blends used, 2005

Table 2.1 Energy ratios for ethanol production from selected feedstocks

Table 2.2 Final Energy Consumption, Mexico 2004; % Total (Total: 4141. PJ)

Table 2.3 Ethanol demand for the three scenarios, M m^3 / year

Table 2.4 Fertilizers in cane production, Brazil, 2002

Table 2.5 Energy Generation and Consumption in the Production of Sugar Cane and Ethanol, Brazil, 2002

Table 2.6 External Energy Flows: ethanol and electricity, Case Studies (Annex 1)

Table 2.7 Energy Ratios for Ethanol Plants: corn and sugar cane

Table 2.8 Expected impacts in the energy production and use in Mexico with the introduction of 10% ethanol in gasoline

Table 3.1 Summary of Greenhouse Gas Emissions and Avoided Emissions, ethanol from sugar cane, Mexico Case Studies (Annex 1)

Table 3.2 Expected impacts in the GHG emissions in Mexico with the introduction of 10% ethanol in gasoline; values for 2004

Table 4.1 Average tail pipe emissions, new vehicles; ethanol blends, Brazil (CETESB 2004) (g/km)

Table 4.2 CARB 3 RFG Standards (selected parameters)

Table 4.3 Standards for vapor lock prevention; Mexican specifications

Table 4.4 Vapor pressure and distillation temperatures for gasoline, for each volatility class; Mexican specifications

Table 4.5 Volatility of gasoline; Brazilian specifications (ANP 2001)

Table 5.1 Cane Burning Reduction Schedule; Brazil and São Paulo State

Table 6.1 Land distribution in the World

Table 6.2 Main soil utilization and vegetation, 2002

Table 6.3 Areas for some selected products, 2004

Table 6.4 Areas needed for ethanol production in the proposed Scenarios

Table 9.1 Chemical composition of stillage from different kinds of must, from sugar cane

Table 9.2 Analytical characterization of stillage, sugar cane, Brazil

Table 9.3 Stillage from cassava, Brazil

Table 9.4 Stillage application systems in the State of São Paulo

Table A1.1 Parameters for the autonomous distilleries, Mexico (Cases 2, 3, 4)

Table A1.2 Ethanol and Electricity production, Distilleries in México

Table A1.3 Energy inputs / outputs for cane production and conversion to ethanol

Table A1.4 Greenhouse Gas Emissions and Avoided Emissions, Sugar cane to ethanol distilleries

Table A3.1 Water uses (mean values) in mills having an annexed distillery

Table A7.1 NOx emissions for gasoline – ethanol blends, (AIST 2005).

Figures

Figure 1.1 Evolution of anhydrous ethanol content in gasoline, Brazil

Figure 4.1 Air pollutants emissions with gasoline-ETBE blends

Figure 10.1 Evolution of ethanol price paid to producers compared to gasoline prices (taxes excluded) at the same time

Figure A4.1 Plant for stillage concentration

Figure A6.1 Percentage area occupation by the main sugar-cane varieties in Brazil from 1984 to 2003

Annexes

Annex 1 Ethanol from sugar cane: energy ratios and greenhouse gas emissions for selected production schemes in Mexico

Annex 2 Standards for ethanol storage tanks and systems, and ethanol transportation in Brazil

Annex 3 Water utilization in a sugar mill with annexed distillery

Annex 4 Stillage Concentration System

Annex 5 System for Anaerobic Digestion of Stillage

Annex 6. Aspects of the sugar cane breeding program in Brazil

Annex 7. Emissions of NOx from ethanol – gasoline blends

Summary and Key Points

The objective of this report is to look at the consequences (social, environmental and economic) of the introduction of ethanol in limited quantities as a blend with gasoline (at most, 10% in volume) in the Mexican transportation fuel pool. Some biomass feedstocks were pre-selected, as well as the use (or not) of irrigation and the conversion processes to ethanol (Table 1.2). To evaluate the sustainability of bio-ethanol production and use in Mexico we consider the main *social, economic and environmental impacts* related to:

The biomass feedstock

Land utilization

The agricultural production

The industrial conversion to ethanol

The ethanol end use

Most of the issues analyzed in this matrix context present some positive and some negative impacts, simultaneously; different process options usually mean "compromising" between the impacts. As an example, in agricultural production higher fertilizer levels and irrigation may lead (in some cases) to lower biomass cost and less land utilization, but also to higher water utilization, contamination and topsoil loss. Harvesting mechanization may lead to lower biomass cost, but also to higher fossil fuel use (with associated GHG emissions) and to fewer jobs. Besides, depending on combinations of the production factors (for example, specific biomass and soil characteristics) these impacts may change considerably. Also the production / utilization factors are not independent; the selection a specific biomass (corn, sugar cane, etc) implies in (partial) definition of the industrial conversion process.

In the following paragraphs some of the main findings in this study are presented for each of the five production / utilization factors listed above the three dimensions of expected impacts: environmental, economic and social. This implies in some simplifications, but the results are useful for this stage of the study, which is a survey of many possible options. Quantitative results are usually referred to specific situations (process options); they are well established in the main text.

The biomass feedstock

The impacts derived from the quality of the biomass feedstock are mostly *economic*, but evidently *environmental* implications are important (high quality varieties may require less fertilizers, agrochemicals and production areas).

The sustainable agricultural production must respond to pests and diseases of the plant and to periodical climate changes; this requires an efficient disease and pest-resistant variety supply program. Important grain crops use large scale multi-national genetic improvement facilities (corn, wheat); sugar beets and sorghum will need more local testing and selection; sugar cane and cassava would benefit much more from local selection programs. Mexico has reduced its important sugar cane variety development program in the last years (Chapter 10); it is essential to provide material for sugar cane expansion areas, and this position should be re-considered.

A strong, independent agricultural extension service is needed, not relying entirely in equipment manufacturers and sellers of agro-chemicals and irrigation systems. Biomass to energy programs worldwide are expected to present at least a good perspective for feedstock cost reduction (since they are not, in most cases, competitive with the conventional energy supply); this needs the technology development and implementation.

Land utilization

Food security is seen in different ways for each country; but providing a fair amount of their "basic food products" with their own resources is usually a goal. Energy crops add complexity to the problem; the use of wastes or degraded lands for energy has been much analyzed recently (Chapter 6).

The impacts are essentially *economic* and *environmental.*

In Mexico ~ 61% of the territory presents a humidity deficit (severe, for 45%) with arid or semi-arid climate. Agriculture may use ~16% of the area, or 30. M ha; in 2003 the cultivated area was 21.8 M ha (16.7 rain fed, 5 irrigated). Pasture land covers a similar area (27.7 M ha), and in some regions (South-Southeast) it could be partially used for energy crops. The self-sufficiency in food production (though of course it is not an objective per se) would need more than the 21.8 M ha used in 2003 (~5 M ha, with today's productivities). The structure of Mexican agriculture has changed in the last ten years; changes will continue, and their influence in any agricultural program has to be considered (Chapter 6).

Agricultural productivity increased in Mexico in the last years, but there is room for improvements, leading to more area available. Irrigation (when possible) plays an important role in this issue.

Two energy crops (sugar cane and sugar beets) would need less than 1 M ha to reach the production for 10% of gasoline substitution; corn would also be in this range, while wheat and cassava would need two times that, and sorghum ~6 times. Therefore, within the limits of the proposed Scenarios, the land requirements could be met without compromising the food production system, for some of the crops.

The agricultural production

Environmental impacts of the agricultural production are very much dependent on the specific crop.

Water use for irrigation takes 70% of the water uses in the world; Mexico has reached 85% (1/3 with underground water; 9000 m^3 / ha, average); efficiency in water use is estimated as ~24 – 34%. Important inversions in infrastructure are needed, to control floods and soil loss (Chapter 7.1). It is expected that regulations for the use of water will be more limiting in the future; energy crops will naturally be required to use less irrigation whenever possible; technologies for efficient use of water are expected to be considered. Water needs for irrigation was one of the considerations when the selection of the feedstocks was made, for this study.

The recovery of the riparian vegetation in agricultural areas, and legal protection for all expansion in new areas, are recommended.

The *environmental impacts* of producing the energy crops are different from crop to crop. The knowledge of the environmental impacts of these crops worldwide (soil erosion with water and wind; use of agro-chemicals: fertilizers, pesticides, herbicides; water utilization and contamination) and the large experience in Mexico with some of them help establishing limits, considering the local conditions. A summary for each crop is presented, emphasizing soil loss, agrochemicals use and trends in mitigation (Chapter 11).

An important parameter is the use (or not) of irrigation; it impacts the water supply, and may lead to soil erosion, salinization, and to underground and surface water contamination. Agricultural expansion will imply in using anthropized, to some extent degraded lands; in culture substitution or in habitat loss.

For some crops the use of stillage in ferti-irrigation can reduce fertilizers (mostly potassium) and supply a small amount of water in selected areas.

For the sugar cane production, *environmental impacts* of sugar cane burning must be considered. Most of the sugar cane in Mexico is harvested after burning; although cane burning emissions have not been associated to chronic diseases, the release of particulate matter may cause discomfort in urban areas, and the smoke may cause risks in areas with electric networks and highways, and fire hazards (Chapter 5.1). Green cane harvesting has been associated with mechanical harvest, with limitations in areas of high declivity and reducing the number of jobs. Solutions are local, depending on the areas involved. Controls may include burning prohibition in some areas (urban perimeters, highways, railways, airports, forest reserves and preservation units) and gradual phasing out in other areas. Sugar cane trash is becoming valuable as a source of additional clean energy, and this will accelerate the implementation of green cane harvesting in many places.

The agricultural production presents a special economic problem with strong *social* implications. The sugar cane based industry, with the existing legislation, can not compete with imported corn fructose; and export prices for sugar are lower than allowed by the cane price (Chapter 6.4 and 6.5). Problems caused in part by the small scale cane production and a cane price fixing system that do not “integrate” cane producers and mill owners will need adequate solution. Both cane production and cane processing present good opportunities for increasing efficiencies and reducing costs, once the institutional problems are solved. Among the opportunities, diversification to ethanol (and electricity co-generation) may be of great importance to strengthen the whole sugar cane agro-industry.

The industrial conversion to ethanol

Environmental impacts of the industrial conversion are also dependent on the specific crop and process.
Water utilization: all processes to produce ethanol from biomass today may be improved to use less water withdrawal from the sources; legal measures may include adequate payment for water withdrawal and consumption, and strict specifications for discharged water quality. For sugar beets, the pre-processing washing at the industry uses up to 10 – 30% of the beets

weight (in water). Cassava also uses large quantities of water. For sugar cane the average water withdrawal from the sources (rivers, lakes, underground water) in Brazil 1.8 m^3 / t cane, but the system can be improved (Chapter 7.2).

Sugar cane (and sorghum): air pollution with bagasse boilers: bagasse boilers are conventional biomass boilers (relatively low temperatures) and the emissions associated are well known (PM, NOx, ozone); they can be controlled in all modern boilers (Chapter 5.2).

Stillage disposal / utilization: stillage treatment is required to avoid the discharge of high organic matter loads in rivers. This concept is still true, but the possibility of profiting with ferti-irrigation has been demonstrated with the evolution in the last 25 years: the nutrients (mainly the Potassium) and water in stillage can pay for all application costs with increased productivity (Chapter 9). Ferti-irrigation must be the first priority in stillage use, whenever possible; it requires a better management, but this will be needed for all the agricultural procedures in the near future, approaching a "precision agriculture" for the energy crops.

Some level of concentration (or some process development to reduce stillage volume) may be economically feasible, to improve the distribution in ferti-irrigation, depending on the topography.

High concentration (~60 Brix) to allow for burning is a process intensive in capital and energy, being difficult to justify, except in very special situations.

Anaerobic Digestion is an option to be reserved for situations where full ferti-irrigation is not possible. It usually is not sufficient to comply with the local requirements set by the environmental legislation; and an aerobic complementation may be mandatory.

The ethanol end use

Ethanol partial substitution for gasoline helps increasing energy security and reducing gasoline / additives imports (*economic impacts*). Economic impacts are also seen in the relative costs of ethanol and the (expected) gasoline cost; in the economic development due to equipment and services suppliers for the new energy sector; and in the strengthening of the rural area, with job creation.

Bio-ethanol (and co-generated electricity) show positive *environmental impacts* by reducing the use of natural resources (fossil fuels) and the corresponding GHG emissions.

Ethanol use in blends with gasoline (and also the use of ETBE) presents different atmospheric emissions (than those from gasoline). The possibility and consequences of leakage and contamination of groundwater must be considered.

The main *environmental impacts* are summarized below.

The biomass and conversion processes proposed, for Mexico conditions (Chapter 2), present energy ratios (energy output / fossil energy inputs) varying from nearly one (corn: 1.3) to ten (sugar cane, with co-generation). Sweet sorghum ratio is ~4; wheat and sugar beets ratios are ~2; and cassava is ~1. Impacts in fossil energy utilization are shown below, for 10% blend of

ethanol and gasoline; the % refers to the total energy consumption for each category, in Mexico. So, sugar cane ethanol replaces 10% of the gasoline and 1.8% of the electricity used in Mexico, and uses 1% of fuels (Diesel, Natural gas and Fuel Oil).

	Gasoline substituted % total gasoline	Electricity substituted % total electricity	(D+NG+FO) used, % total (D+NG+FO)
Sugar cane	10	1.8	1.
Corn	10		7.8
Sugar beets	10		5.1
Sweet Sorghum	10		2.6
Wheat	10		5.1
Cassava	10		10.2

(D + NG + FO): diesel + natural gas + fuel oil

For the same Scenario 3, the GHG emissions for the life cycle of ethanol production and use and the avoided emissions in Mexico (Chapter 3) are:

	Processes, kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol	Mitigation, Mexico; Scenario 3 10^6 t CO_2 eq. / year
Corn	1.8	3.9
Sugar Cane	0.43	10.6
Sugar beets	1.4	5.4
Sweet Sorghum	0.7	8.2
Wheat	1.8	3.9

Atmospheric emissions from blends of ethanol with gasoline are much better known than from ETBE blends (Chapter 4). Ethanol – gasoline blends lead to important reductions in CO, HC and toxic emissions (benzene, toluene, and xylene); nearly zero sulphur and lower particulate matter. Aldehyde (formaldehyde and acetaldehyde) emissions have always been well below allowed limits, and present much lower toxicity and photochemical reactivity than the formaldehyde emissions from diesel or gasoline. Existing data indicates that the NOx increase with the use of ethanol-gasoline blends is very small. Blends of ethanol and gasoline increase of 1.0 to 1.2 psi in RVP, up to the oxygen content of ~5% by volume; higher oxygen content leads to a slowly decreasing RVP. The improvement in refining base gasoline led to acceptable evaporative emissions; and airborne ethanol has very low toxicity. ETBE blends with gasoline result in lower RVP; it also has been effective with reductions at ~15% for CO, toxics and VOCS (blend at 2.7% Oxygen, in RFG).

The experience with MTBE showed the risk of groundwater and surface water contamination; oxygenates are considered according to their solubility in water; the rate of degradation in the

environment; anticipated human exposures; the toxicity to aquatic life, and the effects to human health. Leaking underground storage tanks (UST) are believed to be the primary source of localized releases. Ethanol – gasoline blends are relatively harmless: ethanol is readily degraded in the environment, human exposures are very low, and the expected exposures would have no adverse health impact (Chapter 8). However it is possible that the fast bio-degradation of ethanol in water depletes oxygen at the leading edge of a groundwater plume, extending the BTEX plume. There is little information on the behavior of ETBE or TAME, when leaked or spilled. Ether contamination of soils and surface/ground water is difficult to remediate. ETBE has some advantages compared to MTBE due to the physicochemical properties, but the risk of groundwater contamination from leaking underground storage tanks is not substantially smaller (Chapter 8.3).

The main *economic impacts* (although some may be considered essentially *social*, like job creation, rural development) are:

Reducing gasoline and MTBE importation as in Scenario 3 (10% ethanol blend) would lead to savings of up to US$ 1.75 10^9 (2005) in foreign exchange (~2.0 10^9 in 2010) (Chapter 12). Equipment for ethanol production and combined heat and power generation may have a nationalization index of nearly 100 percent in Mexico, creating jobs and strengthening the industry.

Reaching 10% ethanol in all gasoline (Scenario 3) would require doubling the jobs in sugar cane agro-industry; or, alternatively, increasing in 45% the jobs in corn production. New production structures (larger areas, mechanization and automation) would lead to lower figures; however job creation (at relatively low investment) could be one of the most important social contributions of the program (Chapter 12).

A reference “value” (parity cost) for ethanol when substituting for gasoline and MTBE was taken at ~US$ 0.45 / l (Task 5). Ethanol cost estimates (also in Task 5) indicate that the net economic result (US$ / l) is negative for all cases, with ethanol prices at US$ 0.45 / l; it is positive for the “conventional” combinations of biomass / technologies (sugar cane and corn) and ethanol prices between US$0.45 and US$ 0.55 / l. It remains negative for all “new” technologies, even at US$ 0.65 / l ethanol. The feedstock cost is the most important item; 10% lower cane cost leads to 6% reduction in ethanol cost (4% in corn).

Sugar cane seems attractive, since costs can still be significantly reduced; corn follows closely.

Conventional processes have the lowest investment needs (with corn leading); sugar cane requires less area, while sugar beets and corn are relatively close (~10 – 20% more).

Key Points

- Replacing 10% of the gasoline in Mexico with ethanol could be accomplished with ~1 M ha, using suitable crops; land is available without competition for food production.
- Water use for irrigation must be controlled, using whenever possible rainfed production; irrigation efficiencies must be improved, as well as protection to the springs and water ways. Water withdrawal for industrial use can be minimized, and the discharged water quality controlled.
- The use of stillage for ferti-irrigation must be a priority; however it needs suitable planning (and a specific legislation) to avoid water contamination. For sugar cane, the trend toward green cane harvesting will mitigate the environmental impacts of sugar cane burning, which also requires planning and regulation.
- Efficient disease and pest-resistant variety supply programs are required, as wel as adequate agricultural extension services.
- Impacts in fossil energy utilization are shown below, for 10% blend of ethanol and gasoline, as percentage of the total energy consumption for each category, in Mexico. So, sugar cane ethanol replaces 10% of the gasoline and 1.8% of the electricity used in Mexico, and uses 1% of fuels (Diesel, Natural gas and Fuel Oil).

	Gasoline substituted % total gasoline	Electricity substituted % total electricity	(D+NG+FO) used, % total (D+NG+FO)
Sugar cane	10	1.8	1.
Corn	10		7.8
Sugar beets	10		5.1
Sweet Sorghum	10		2.6
Wheat	10		5.1
Cassava	10		10.2

(D + NG + FO): diesel + natural gas + fuel oil

For the Scenarios 1, 2 and 3-b all the values would be respectively 10.5 %, 23% and 59% of the above.

- For the same Scenario (10% ethanol blended), the GHG emissions for the life cycle of ethanol production and use and the avoided emissions in Mexico are:

	Processes, kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol	Mitigation, Mexico; Scenario 3 10^6 t CO_2 eq. / year
Corn	1.8	3.9
Sugar Cane	0.43	10.6
Sugar beets	1.4	5.4
Sweet Sorghum	0.7	8.2
Wheat	1.8	3.9

For the Scenarios 1, 2 and 3-b all the values would be respectively 10.5 %, 23% and 59% of the above. Emissions from gasoline today are ~ 117. 10^6 t CO_2 eq. / year.

- Ethanol – gasoline blends lead to important reductions in CO, HC, toxic emissions and to lower PM. Aldehyde emissions have always been well below allowed limits; and the NOx increase is very small (with respect to the absolute limits). The improvement in refining base gasoline led to acceptable evaporative emissions.
- Ethanol – gasoline blends are relatively harmless for groundwater and surface water contamination; ETBE may present problems as MTBE.
- The 10% ethanol blend) would lead to savings of up to US$ 1.75 10^9 (2005) in foreign exchange; it would also boost the equipment manufacturing industry. It would require doubling the jobs in sugar cane agro-industry; or, alternatively, increasing in 45% the jobs in corn production.
- The net economic result (US$ / l) is positive for the "conventional" combinations of biomass / technologies (sugar cane and corn) and ethanol prices between US$0.45 and US$ 0.55 / l. The feedstock cost is the most important item; 10% lower cane cost leads to 6% reduction in ethanol cost (4% in corn). Sugar cane seems attractive, since costs can still be significantly reduced; corn follows closely.
- Conventional processes have the lowest investment needs (with corn leading); sugar cane requires less area, while sugar beets and corn are relatively close (~10 – 20% more).

1. Introduction

The last twenty years saw an extraordinary improvement of our knowledge of the consequences of human interaction with the environment, as well as the social consequences of political and economic action in a much more interrelated (globalized) world. Sustainability (in all its three aspects: social, environmental and economic) is becoming a key parameter to measure the adequacy of proposed development programs.

1.1 Energy Sustainability

In many ways, energy and sustainability issues are interrelated. Energy plays an essential role in most of the social / economic development issues; any time we try to establish development "targets" we will face the (sustainable) energy requirements, limitations and in some cases advantages. A good example is seen in the analyses of energy (direct and indirect) linkages to each one of the Millennium Development Goals (UNDP 2004); for topics as diverse as:

Extreme poverty and hunger

Universal primary education

Gender equality and women's empowerment

Child mortality

Maternal health

HIV/AIDS, malaria and other major diseases

Environmental sustainability

energy availability, production and utilization remain as important issues.

The recent growth in the supply of (commercial) energy using biomass resources (mostly bio-ethanol and biodiesel) has brought to attention important sustainability issues linked to the production and use of these fuels. The problems cover a large spectrum of human activities, including all the sustainability questions related to agriculture, and the air and water pollution aspects of the commercial fuels. A recent analysis of the ethanol from sugarcane production and use as fuel in Brazil (Macedo 2005) has looked at questions as diverse as:

- Impacts on natural resources

  Use of fossil energy, materials, and water
- Environmental impacts

  Air quality; global climate; soil occupation and bio- diversity; agricultural soil preservation; utilization of agro-toxics and fertilizers
- Sustainability of the agricultural production base
- Production impacts in commercial actions
- Socio-economic impacts (job creation and quality)

There are significant differences among the environmental, social and economic impacts of producing and using bio-fuels from different biomass feed stocks, conversion and utilization processes, and regions in the world. Some of the impacts can be extremely positive; for instance, when looking at bio-ethanol to reduce energy dependence on fossil fuels, one might find important reductions also in green house gases emissions (in some cases), improvement in urban air pollution, and increase in jobs. In some areas there might be competition for land (for food), higher use of water resources, and water contamination with agro-chemicals. A balance must be sought, leading to an overall positive effect with a minimum of (acceptable) negative impacts. Some bio-fuels, in proper conditions, have led to what we can definitely identify as "responsive sustainability": not only minimizing their impact in some area, but going much beyond in positive results, helping to balance the action of other sectors.

The objective of this report is to look as broadly as possible at the consequences (social, environmental and economic) of the introduction of ethanol in limited quantities as a blend with gasoline in the Mexican transportation fuel pool.

The limits in ethanol volumes to be produced and used are stated in the three scenarios defined previously. The scenarios have been presented and discussed in (Rodriguez N. 2006) and in (Nogueira 2006). The summary is shown below, and also the respective volumes of ethanol required.

> Scenario 1: Substitution of ETBE (Ethyl Terbutyl Ether) and TAEE (Teramyl Ethyl Ether) for the national production of MTBE (Methyl Terbutyl Ether) and TAME (Teramyl Methyl Ether), keeping the MTBE imports needed to satisfy the oxygenated gasoline demand in the Metropolitan areas of Guadalajara, Monterrey y Valle de México.
>
> Scenario 2: Elimination of all oil derived ethers in gasoline, keeping the 2% (weight) oxygen in the gasoline in the Metropolitan areas, and using only ethanol as the oxygen source.
>
> Scenario 3: Blending of 10% ethanol (volume) in all gasoline in Mexico, leading to 3.5% oxygen in weight, as in many of the ethanol programs in other countries today.
>
> Scenario 3-b: Blending of 10% ethanol in all the gasoline in areas where today there is no oxygenates.

Scenario 3-b was considered initially, but according to the exposition in the Report in Task 5 the "full" 10% gasoline substitution was taken as a basis for the evaluation of impacts. For all quantitative impacts, Scenario 3-b would imply in using 59% of the ethanol needed for Scenario 3, (and, correspondingly, 59% of the GHG mitigation would be achieved, as well as for the impacts in fossil fuel use for ethanol production, land utilization, etc).

The volumes of ethanol needed in each case (Nogueira 2006) are shown in (Table 1.1).

Table 1.1 Ethanol demand for the three proposed scenarios, M m^3 / year

	2006	2010 (1)
Scenario 1	0.412	
Scenario 2	0.912	1.11 to 1.153
Scenario 3	3.897	4.406 to 4.582
Scenario 3-b	2.298	2.599 to 2.703

(1) The two values for 2010 are based on market growth estimates by PEMEX (3% or 3.3% /year) as discussed in (Nogueira L. A. H. 2006).

Although the ethanol demands in two of the proposed scenarios seem relatively small, they are quite realistic in representing the way the introduction of biofuels is being made in many countries, and (especially in Scenario 3) the nature and magnitude of the most important impacts, positive or negative, can be established.

For the scenarios proposed, the working group (SENER-BID-GTZ-Consultores) selected for evaluation the biomass options and technologies shown in (Table 1.2).

Table 1.2 Preliminary selection: biomass option, water, technologies

Crop	Region	Water	Technologies
Sugar Cane	Bajo Papaloapan, Huastecas, Balsas	Rain fed and Irrigation	Conventional and Hydrolysis
Corn	Mar de Cortés	Irrigation	Conventional
Wheat	Mar de Cortés	Irrigation	Conventional
Sorghum (grain)	Golfo Norte	Rain fed	Conventional
Sugar beets	Mar de Cortés	Irrigation	Conventional
Tropical beets	Bajo Papaloapan and Peninsular	Rain fed	Conventional
Cassava	Bajo Papaloapan and Peninsular	Rain fed	Conventional

Latter the analysis developed in (Lazcano 2006b) considered the options of biomass feedstock for ethanol in Mexico, taking into account the experience with the culture, and the water and soil conditions and availability (already with some insights on the possible competition for land for food crops). The subject was also considered when looking specifically at the processes availability (Nogueira 2006) and some limitation in the scope was introduced. The analysis (with different depths, due to data availability) was performed for sugar cane, corn, sweet sorghum, cassava and sugar beets.

1.2 Context: the ethanol markets

The search for alternative energy supplies is growing, under the pressure of oil supply difficulties and the threat of green house gases emissions and global climate change. Some figures for the end of 2004 are representative of the oil supply situation: the world's oil demand was at 83 M barrels / day, very close to the limit of extraction; OECD economies already had a deficit of 25 M barrels / day. Main concerns were the rise in energy consumption of the so called emerging economies: China produced 3.57 M barrels / day (2004) and the demand was already 6.35 M barrels / day; India produced 0.8 M barrels / day, with a demand of 2.3 M b/ day. The US alone imported 11.7 M barrels / day (crude) and 0.85 M barrels / day of gasoline.

Ethanol production and use is in rapid expansion worldwide; in 2005 production was expected to reach 38.2 M m3 (16 M m3 from Brazil). Estimates for 2010 are above 60M m3 (F O Lichts 2004). Recently IEA estimates, considering the established programs in the EU, USA, Canada and Brazil, indicated a demand for 66 M m3 ethanol, in 2010 (Fulton and Howes 2004). Ethanol corresponds to 90% of the biofuels (10% is biodiesel) today. Forecasts beyond 2010 still indicate strong growth, most of it coming from the rapid spreading of blends up to 10% ethanol (volume) (in many countries, but especially the U.S.) and to the impact of the Flex Fuel cars in Brazil. National policies lead in this direction, and some countries (in Europe, or Japan) are looking also to the use of ethanol in ETBE.

The most common way to use ethanol is through its blending with gasoline, since the miscibility of both is very good (especially if the ethanol is anhydrous) and the application in spark ignition (Otto cycle) engines does not require vehicle modifications when it is bended up to 10% ethanol by volume (Joseph Jr. 2005).

In the USA, public acceptance, automakers endorsement and refueling infrastructure investments led to the routine use of ethanol in blends with gasoline; today, one out of every eight gallons of gasoline sold in the USA contains ethanol. In Brazil, all the gasoline sold contains 20% ethanol and the sales of flexible fuel vehicles and pure ethanol vehicles led to more than 40% (average) ethanol in the fuel for all Otto cycle engines.

Countries already using ethanol blends in 2004 are shown in (Table 1.3).

Table 1.3 Ethanol blends used, 2005

Ethanol Blend, % v	
5	Sweden, India
7	Paraguay
10	Canada, Australia, Thailand, China, Colombia, Peru, U.S.A (also E-85)
25	Brazil (also E-100 and Flex-Fuel cars)

The main reasons for the fast spreading of the use of ethanol blends have been:

It is an effective and environmentally-sound way to complement gasoline supplies;

Miscibility of ethanol and gasoline is good;

Durability of gasoline is not affected by ethanol;

Vehicle performance is maintained;

Vehicle drivability is kept or improved;

Corrosion on vehicle metallic materials is not affected; and

The vehicle durability is maintained.

The development of markets for ethanol has followed different routes in each country. The most advanced case, in Brazil, can be summarized as follows:

- The increase in the % of anhydrous ethanol added to gasoline to the maximum level acceptable by the existing fleet of gasoline vehicles; firstly to 22% (objective achieved in 1984), and more recently increased to 25% +/- 1%.
- Introduction of pure-ethanol cars (starting August 1979).
- A third stage is now underway with the introduction of "flex-fuel" cars in March 2003, currently accounting for more than 70% of total light auto-vehicle sales.

Blends have been used to allow for fluctuations in ethanol production / demand, as shown in (Figure 1.1) for Brazil (Macedo and Nogueira 2005).

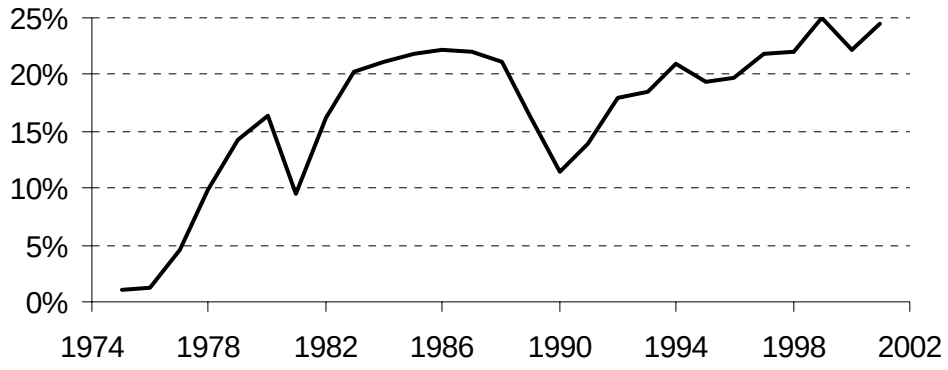


Figure 1.1 Evolution of anhydrous ethanol content in gasoline, Brazil

2. Impacts in the use of fossil energy

2.1 Introduction: the world context

The world supply of energy is based on fossil fuels (75%); the scale on which fossil fuels are used quickly leads to depletion of some sources, leaving a heavy additional load for the future generations. Additionally, the use of fossil fuels is responsible for a large load of local pollution and most of the greenhouse gases emissions. The use of energy should grow as a result of the advance of many of the world's developing regions. The current challenge is to seek renewable energy sources and to increase efficiencies in energy generation and use on an unprecedented scale.

The answers to this challenge have been, for some time, the efforts towards energy efficiency (generation and end use). They have been successful to some extent, including the public awareness of the problem; however the growing evidence on the Global Warming problems and the fast development in many of the world's regions leave no doubt about the need for reducing fossil fuel utilization. Today most nations are looking for alternative, renewable energy sources; a significant number of programs are under way, most of them using subsidies to promote insertion in the national energy systems.

The diversification of energy sources, with focus on renewable energy, aims at increasing energy security and reducing the global environmental problems with the emission of greenhouse gases.

2.2 Supply and use of electricity and fuels in Mexico

Mexico shows a strong dependency on oil as a primary energy source (understandably, due to the large production today). Oil and Gas represented 82.4% of Mexico's Domestic Energy Supply in 2004 (SENER 2005); in Brazil (MME 2005) it was 48.0%, in the same year; and the world's final energy consumption from oil and gas was 59.2% in 2002.

The need for considering the development of new energy sources seems to be well understood and some measures are being taken in this direction. A comprehensive analysis of the situation and possibilities for developments in one of the renewable energy areas (bio-energy) has recently been published by the Comisión Nacional Forestal (Masera 2006). Many other documents have focused in the development of bio-ethanol programs.

The legislation for Promotion and Development of Bioenergy, in discussion, establishes a maximum of 10% of ethanol blend in the gasoline. It considers the agricultural development needed for the implementation (Martinez 2006).

2.3 Bio-ethanol (and co-generated electricity) and its impact on the energy supply: the substitution of fossil fuels

When bio-ethanol is considered for fossil energy substitution it is necessary to take into account not only positive effect of the gasoline substitution, but also the fossil energy used in the production and utilization of ethanol, and the other (renewable) energy outputs of the ethanol production system.

With the technologies (and biomass materials) used today, we have two very different situations:

- The biomass material is sufficient (and adequate) as feedstock for the conversion to ethanol and to supply the energy required for the conversion process (sugar cane, for example; and the ethanol from hydrolysis of lignocellulosic material, in the future)
- The conversion process needs energy inputs from fossil fuels (in general, all the cereal grains, other starch materials, sugar beets, etc)

Typically, the ethanol from sugar cane in Brazil uses one unit of fossil fuel input to produce 8 units of renewable energy (even without the surplus electricity production), while the ethanol from corn (U.S.) today yields ~1.5 units of renewable energy for each unit of fossil fuel used. This value varies according to the consideration given to by-products and data on agricultural inputs, as shown in (Farrrell 2006). So, the impacts obtained with the substitution for (fossil) energy are significantly different.

This topic has to be considered carefully, because the relatively "low" energy gains with some of the biomass materials / processes used will be determinant for the corresponding GHG emissions; in some cases (the ethanol from corn, today, is a good example) the energy gain will not be sufficient to promote a significant GHG reduction (with respect to the use of gasoline) in the life cycle.

A second point to be noted is that, today, we do not have a commercially available, well tested process to produce ethanol from lignocellulosic feedstock. The very interesting processes of biomass gasification leading to fuel syntheses are also in development stage. Both processes could lead to liquid fuels with very high ratios of (fuel energy output / (fossil energy input), and they may be important in the relatively near future.

Since the Scenarios defined for this study consider one of the two "future" options (namely, the use of part of the sugar cane biomass, bagasse and trash, as cellulose feedstock to produce ethanol from hydrolysis / fermentation), we will also present estimates for the amount of energy (and the avoided GHG emissions) for an option considered closer to reality in the next ten years; however the results are only approximate, due to uncertainties in process efficiencies.

A recent survey (Worldwatch 2006) of the results found the energy ratios for biomass to ethanol processes indicated:

Table 2.1 Energy ratios for ethanol production from selected feedstock

Biomass	Fossil Energy Ratio (1)
Wheat	~ 2
Sugar Beets	~ 2
Corn	~ 1.5
Sugar Cane	~ 8

(1) (fuel energy output) / (fossil energy input)

It must be noted that Diesel Oil and Gasoline have Fossil Energy Ratios (from crude oil) of 0.8-0.9 and 0.8, approximately.

The Primary Energy Production in Mexico was (in 2003) 10300. PJ (from which 9300. in hydrocarbons). The Domestic Energy Supply was 6049. PJ (Martinez 2006), and the Final Energy Consumption was 4141. PJ.

To evaluate the impact of ethanol production / utilization in reducing the fossil energy demand, according to the three scenarios proposed for this study, we must compare the net fossil energy "saved" and the total energy utilization.

In 2004 the final energy utilization for each type of energy relevant to this study, in Mexico, was (Martinez 2006):

Table 2.2 Final Energy Consumption, Mexico 2004; % Total
Total consumption: 4141. PJ

	Energy, % Total
Gasoline and Nafta	30.0
Diesel	15.1
Natural Gas	10.7
LPG	11.0
Fuel Oil	3.4
Electricity	14.2

Most of the electricity in Mexico is produced in thermal power stations (based on fossil fuels: fuel oil or Natural gas). For bio-ethanol production, the Fossil Energy Ratio as used here: (ethanol energy output) / (fossil energy input) indicates the impact on the use of fossil fuels (how much fossil energy is "saved" with the use of ethanol).

The three Scenarios for ethanol production / use considered in this study, as discussed in the Introduction (see Table 1.1), lead to the following ethanol demands for 2006 and 2010:

Table 2.3 Ethanol demand for the three scenarios, M m^3 / year

	2006	2010 (1)
Scenario 1	0.412	
Scenario 2	0.912	1.110 to 1.153
Scenario 3	3.897	4.406 to 4.582

2.4 Energy balances for the sugar cane to ethanol industry

The energy ratios for ethanol production from sugar cane (as well as for other raw materials) can vary substantially depending on the agricultural practices and productivities and the conversion processes and efficiencies. Since sugar cane and corn may become important choices for ethanol production in Mexico, and since considerable information is available for both (in Brazil and the U.S., respectively) it is important to evaluate the range of values found. To define the methodology in use, the evaluation of the energy ratio for the conditions for cane production and conversion to ethanol in Brazil is summarized in the following paragraphs, as well as for the ethanol from corn in the U.S. After that, three specific scenarios (technologies and conversion processes) for the Mexican production from sugar cane are analyzed, following the same methodology.

The results for the ethanol production in Brazil have been updated to 2002 (Macedo, Leal and Silva 2003); very briefly, the production / utilization of ethanol were defined by the following agricultural parameters:

- Brazilian Center South region (85% of the sugar cane produced) uses 35% of mechanical harvesting; and 20% of unburned cane harvest.
- Averages for 5 years (1998 to 2002) are:

  Pol % cane : 14.53%

  Fiber % cane : 13.46%

  Cane productivity: 82.4 t/ha (harvested area)

  Mean harvested area distance from sugar mill: 20 km

  Vinasse application in 30% of the ratoon area

  Fertilizer application: (Table 2.4)

Table 2.4 Fertilizers in cane production, Brazil, 2002

	Plant Cane (kg/ha)		Ratoon (kg/ha)	
	Scenario 1	Scenario 2*	Scenario 1	Scenario 2*
Nitrogen N	30	-	80	90
Phosphorus - P_2O_5	120	50	25	-
Potassium - K_2O	120	80	120	-

* Areas with the application of filter mud cake and vinasse (30%)
Scenario 1: averages Scenario 2: best values

- Energy for the production and use of lime, herbicides and pesticides was also considered, as well as the energy use for the production and maintenance of agricultural equipment

For the industrial processing of cane to ethanol, the basic (average) parameters were, for the 2001/2002 crushing season:

RS (reducing sugars) 0.545%
Mill extraction efficiency 96.2%
Juice treatment efficiency 99.2%
Sugar loss in cane washing 0.61%
Fermentation efficiency 91.1%
Distillation efficiency 99.6%

leading to 88.7 l/t cane (anhydrous ethanol). A value of 86 l/t cane (anhydrous ethanol) was used to include the averages for the North / North-East production.

- The mills are self-sufficient in energy (both thermal energy and electricity). Surplus bagasse was assumed (average, ethanol plant) at 8%.
- All the inputs (chemicals, lubricants, etc) and the energy spent in the construction and maintenance of buildings and equipment were considered (Macedo, Leal and Silva 2003)

Results (Macedo, Leal and Silva 2003) are shown in the (Table 2.5), where Scenario 1 represents the “average conditions” and Scenario 2 represents the “best results” achieved. The energy balance was calculated considering three levels of energy flows: the direct consumption of external fuels and electricity; the additional energy required for the production of chemicals and materials used in the agricultural and industrial processes (fertilizers, lime, seeds, herbicides, etc); and the additional energy necessary for the manufacture, construction and maintenance of equipment and buildings.

Table 2.5 Energy Generation and Consumption in the Production of Sugar Cane and Ethanol, Brazil, 2002 (Macedo, Leal and Silva 2003)

	Energy Consumption			
	Scenario 1 (kcal/TC)		Scenario 2 (kcal/TC)	
Sugar cane production (total)	**48,208**		**45,861**	
Agricultural operations	9,097		9,097	
Transportation	10,261		8,720	
Fertilizers	15,890		15,152	
Lime, herbicides, pesticides, etc.	4,586		4,586	
Seeds	1,404		1,336	
Equipment	6,970		6,970	
Ethanol production (total)	**11,800**		**9,510**	
Electricity	0		0	
Chemicals, lubricants	1,520		1,520	
Buildings	2,860		2,220	
Equipment	7,429		5,770	
External Energy Flows	**Input**	**Output**	**Input**	**Output**
Agriculture	48,208	-	45,861	-
Factory	11,800	-	9,510	-
Ethanol produced	-	459,100	-	490,100
Surplus bagasse	-	40,300	-	75,600
Total	**60,008**	**499,400**	**55,371**	**565,700**
Energy Ratio, Output / Input (fossil)	**8.3**		**10.2**	

The production of ethanol from sugar cane in Mexico may include many options (processes and agricultural / industrial efficiencies); they have important consequences for the Fossil Energy Ratio (and consequently for the impacts in the energy sector) and for the emissions of greenhouse gases. Estimates were made for four cases considered suitable to analyze the possibilities in Mexico:

- Case 1: small annexed distillery, operating with exhausted molasses. The sugar mill operating parameters and efficiencies are the average for *today's sugar mills in Mexico*; only the distillery is "new", with modern fermentation / distillation systems, and conversion efficiencies equivalent to the "state of the art".
- Case 2: Autonomous (independent) distillery, operating with cane juice. The operating parameters correspond to a new, modern factory, with efficiencies equivalent to the best (commercial) systems; a co-generation system in included, at 62 bar (abs) - 450°C; CEST. The steam consumption in processes corresponds to the "average" Brazilian mills (high: ~500 kg steam at 2.5 bar (abs)). This is the trend for new Brazilian ethanol distilleries (except for the CEST, existing but not used yet) aiming at increasing power exports.
- Case 3: Autonomous distillery; the only differences to Case 2 are the introduction of energy efficient systems to reduce the thermal energy requirements of the processes at

the industry. They are all commercial systems; the steam consumption lowers to 350 kg steam at 2.5 bar (abs) / t cane. This improves electricity surplus (using he CEST co-generation scheme); many mills are considering this option for the next years, in Brazil, because it will be necessary if the hydrolysis of bagasse / trash becomes commercial.

- Case 4: This is an option including non-commercial technology; it would be a first step towards future (possible) systems to use hydrolysis of the cane wastes to increase ethanol production. Considering Case 3, the difference is the recovery of some of the trash (40% over the 20% of the area harvested without burning; so, only 8% of the total trash). This biomass, together with the "saved" bagasse from the low steam consumption processes, is used for producing ethanol. No electricity surplus is sought: all biomass goes to ethanol.

A summary of the detailed estimates are included in the Annex 1; the final results are:

Table 2.6 External Energy Flows: ethanol and electricity, Case Studies (Annex 1)

	Unity	**Case 1**	**Case 2**	**Case 3**	**Case 4 (1)**
Production					
Ethanol	m^3/t cane	10.8 (2)	83.5	83.5	102. (3)
Electricity					
Total	kWh/t cane		73	84	45
Surplus (sold)	MW/mill	n.a.	25	30	0
	kWh/t cane	(-1.25) (4)	54	65	0
Fossil Energy Ratio		**2.7**	**9.7**	**10.2**	**8.6**

(1) Ethanol production from sucrose and from cellulose

(2) Ethanol from molasses, only; a value of 10.8 l / t cane was used.

(3) From sucrose (84 l/t cane) plus hydrolysis and fermentation (268 l/t (Dry Matter).

(4) Applying to all cane (sugar + ethanol)

It is clear that Case 1 (corresponding to the lowest investment, immediate adding of a small distillery to the existing sugar mill) carries the inefficiency of external fuel oil and electricity use at the industry today (not self sufficient) leading to a relatively low energy ratio. Case 1 is presented in Annex 1, with the parameters for the sugar mills today; the calculations follow closely the model presented in (Macedo, Leal and Silva 2003). Case 4 is a future, hypothetical system but probably possible in some years; actually, much higher biomass use (from trash) may eventually be possible. Cases 2 and 3 are well representative of the expected new, modern independent distilleries including co-generation; so an energy ratio **~10** is expected.

2.5 Energy balance for the corn to ethanol industry

There has been much public debate in the US about the net energy of ethanol from corn: whether producing ethanol takes more non-renewable energy than the resulting fuel provides. Actually the ratio of output/input energy (fossil energy ratio) is much smaller than the ratio found in the production of ethanol from sugar cane in Brazil; of course the difference comes mainly from the fact that ethanol from corn needs external (usually fossil) fuel for the conversion process, while ethanol from sugar cane uses only its own bagasse as a source of energy. Detailed calculations of the energy ratio and its variations, as well as the direct calculations of the GHG emissions (and the mitigation, considering the gasoline substituted for) are found in (Farrell 2006).

The last analyses show clearly that (Farrell 2006), for the production conditions found today, current ethanol technologies are less fossil fuel dependent than gasoline. The best estimate indicates that GHG emissions reduction, with respect to gasoline, are small (~13 %); the energy ratios (energy output as ethanol to energy input, including oil, natural gas , coal and other) have been reported in studies from 1995 to 2002 to be from 1.24 to 1.34, and in 2004 the USDA reported a 1.67 value. This corresponds to much larger corn yields (125 bu/harvested acre); larger corn to ethanol conversion ratios (2. to 2.8 gallons / bu) and lower fertilizer (Nitrogen) inputs. Also the separate account of the energy used in by-products was considered (USDA 2004).

The values chosen for this study are the "ethanol today" results presented recently (Farrell 2006) with the actual values for the U. S. agro-industry; for the productivities assumed, the agricultural inputs will be similar to the used in the U.S., and the industrial conversion would be essentially the same. Net energy values considered the input energy (energy in ethanol, less all energy used in production of the ethanol); but they also included co-products energy credits. Parameters used for the "ethanol today" study considered the current mix of wet and dry milling; current crop and ethanol yields; and the current inputs (fertilizers, fuels, etc).
Some values for the agricultural production are:

Total energy, direct and indirect, MJ/ha: 19361 (LHV)

Fertilizers: Nitrogen: 150 kg/ha; P2O5: 64 kg/ha; K2O: 99 kg/ha

Herbicide: 2.8 kg/ha; Insecticide: 0.21 kg/ha;

Transportation inputs: 934 MJ/ha; Gasoline 1.277 MJ/ha; Diesel 2.719 MJ/ha; Natural Gas: 670; LPG: 765; Electricity: 820

Energy for irrigation: 49 MJ/ha

The enegy ratio for the "ethanol today" case is **1.27** (Farrell 2006).

(Table 2.7) compares the energy use / production results for the ethanol from corn in the U.S. (wet and dry milling) in another recent study, and the ethanol from sugar cane in Brazil (Eggeman and Verser 2005).

Table 2.7 Energy Ratios for Ethanol Plants: corn and sugar cane (Eggeman and Verser 2005); (MJ/m3 ethanol)

	Standard Dry Mill	Standard Wet Mill	Cane Mill, Average (1)
Fossil Energy Use			
Crop Products	6027	5973	1847
Crop Transport	637	626	500
Other Feed Stocks	0	0	0
Ethanol Conversion	13594	15117	574
Ethanol Distribution	443	443	0
Sub Total	20751	22159	2921
Co-products credit			
Mill Co-products	3655	4126	0
Fuel or Power Exports	0	0	2921
NEV (2)	6307	5369	21387
Energy Ratio (3)	**1.37**	**1.30**	**8.32**

(1) Values for Sugar Cane in Brazilian Center-South (Macedo I. C.; Leal M. R. and Silva J.R. 2003)

(2) NEV: Net Energy Value: (Heating Value of Ethanol) – (Fossil Fuel Energy Use – Co-products credits)

(3) Energy ratio: (Heating Value of Ethanol + Energy Exports) / (Fossil fuel Energy Use – Mill co-products)

In Mexico, the proposed ethanol from corn process would be exactly like the industrial processes in the U.S. today; the productivities expected (see Table 6.4, Chapter 6) for irrigated areas would need the same levels of agricultural inputs. So, for this study we assume that the energy ratio today will also be close to **1.3**. We are aware that the actual productivities today, for most of the areas in Mexico, are much lower; however, as pointed out by Nogueira in theReport on Task 5, we are consistently using the estimates provided by the studies on the Tasks 3 and 4, for future conditions.

2.6 Estimates for sorghum, beets, cassava, other

For sweet sorghum, the best information available is based on the important agronomic studies in Southern Africa (mostly in Zimbabwe) in the last decade. Analyzing different production / utilization systems (including the combined production with sugarcane) and using essentially the same processing (milling) systems as for sugar cane, energy ratios of ~**4** were achieved (simulation) (Woods 2000). This included the agronomic and industrial processes. Again, as in sugar cane, the use of the bagasse to supply energy to the industrial unit is essential for the relatively high energy ratio.

In Mexico the important sorghum production is almost all grain sorghum (not sweet sorghum). It will present the problem of all cereal grains: since they can not provide all the biomass needed for the energy requirements in the industrial processing, they need external energy (as corn) and this leads to low energy ratios. In general, studies of processes for ethanol from grains (corn, wheat) presents energy ratios at 1.3 – 1.8 (corn) and 1.0 – 1.2 (wheat) and some results are even <1 (Fulton and Howes 2004). Differences depend on assumptions, productivities, inclusion (and energy partition) of by-products, etc. For this preliminary analysis, we will consider **1.3** for corn, **4.0** for sweet sorghum, **and 2.0** for wheat (Worldwatch 2006). Grain sorghum energy ratio could be ~**2.0** considering its low productivity (as proposed, in rain fed areas); but this will need further evaluation.

For sugar beets some studies are available; a very careful analyses for the U.K. conditions (El Sayed et al. 2005) arrives at an energy ratio of 2.0, as in (Worldwatch 2006). Total energy use is 13245. MJ/t ethanol; process electricity accounts for 150. kWh/t ethanol; and process steam is 7270. MJ/t ethanol. Beets agricultural production and transportation use 2900. MJ/t ethanol, and building construction, maintenance and distribution account for 680. MJ/t ethanol. All values include direct and indirect energy, for a complete life cycle analysis. An energy ratio of **2.0** is assumed for Mexico.

For cassava the direct energy utilization at the industrial plant has been estimated at 28 MJ / l ethanol (Nogueira 2006), based essentially in data from (Trindade 1985) to supply all the heat and electricity needs. A rough estimate of the agricultural energy needs (for large scale plantations, as in Thailand and Brazil) can be made using the values for sugar beets, approximately 2.3 MJ / l ethanol. The total energy (only direct; not the "embedded" energy, or chemical inputs) would be ~30.3 MJ / l ethanol. This already leads to an energy ratio <1 (~0.74); however the final results may be better, depending on the allocation of energy to the by-products (in this case, only stillage, valued for the potassium content). We do not have sound information on the energy used in the more recent cassava to ethanol factories (not many); it is probable that energy savings and better generation efficiencies improve substantially the balance. However, for this study we will assume a value close to ~**1.0.**

2.7 Impacts on the energy sector

To relate the energy ratio to the actual savings in fossil energy with the use of bio-ethanol, the important points are:

- Bio-ethanol substitutes for gasoline; in blends up to 10%, it is usually assumed (based on experimental data) that the substitution is nearly 1 liter ethanol for 1 liter gasoline (Nogueira 2006), concerning the vehicle economy (km/liter of fuel).
- The fossil fuel "savings" refer to gasoline (mainly). In the cases of co-generated electricity surplus, they have to be compared to the total electricity generation; either using directly the TWh generated, or the primary source used for power production (in Mexico, mostly Natural Gas or Fuel oil). The energy use (to produce bio-ethanol) refers mostly to diesel, and some electricity (again, Natural Gas and Fuel Oil are used as the primary sources).

(Table 2.8) shows the expected impacts from the use of different biomass sources to substitute for 10% of the ethanol in Mexico. The Final Energy Use profile is for 2004 (Table 1-02). As expected, there are large differences depending on the biomass source (processes). In some cases the energy use in the processes may be very high, and if the biomass source does not supply it the balance may be close to zero. The outstanding position of sugar cane is due to the use of bagasse; sugar cane biomass is 2/3 cellulosic (bagasse and trash) and only 1/3 is sucrose, converted to ethanol. Bagasse can supply the energy for processes and produce surpluses (in this case, electricity). This is also important for the balance of GHG emissions, as seen in Chapter 3.

Table 2.8 Expected impacts in the energy production and use in Mexico with the introduction of 10% ethanol in gasoline; values for 2004

	Fossil Energy Ratio	Bio-Energy Produced		Energy Used (5)
		Ethanol, % Gasoline (1)	Electricity, % Total Electricity (2)	Energy, % (Diesel +NG+ Fuel Oil) (3)
Corn	1.3	10.0	0.0	7.8
Sugar Cane (4)	10.0 (7)	10.0	2.4 (T); 1.8 (Sell)	1.0
Sugar beets	2.0	10.0	0.0	5.1
Sweet Sorghum	4.0	10.0	0.0 (6)	2.6
Wheat	2.0	10.0	0.0	5.1
Cassava	1.0	10.0	0.0	10.2

(1) Ethanol Produced as percentage of the Total Gasoline Consumption, 2004: 1242. PJ (Table 2.2); programs defined for 10% blend in all gasoline (Scenario 3)

(2) Electricity co-generated in the program, as percentage of Total Electricity Used in 2004: 588. PJ (Table 1-02)

(3) Total use of Diesel, NG and Fuel Oil in 2004: 1209. PJ (Table 1-02)

(4) Electricity production: 14.2 PJ (total); 10.9 PJ (surplus, to sell); 3.3 PJ (internal use)

(5) Energy (external) used by the processes to produce the ethanol, as percentage of the fuel supply in 2004 (Diesel +NG+ Fuel Oil). When electricity is bought, the value equivalent to the primary energy for generation (fuel) is considered here

(6) Sweet sorghum co-generated energy (with residues) covers a portion of the electricity needs, but here it is not producing surplus power. It may improve in the future.

(7) Corresponds to the installation of new units (Cases 2 and 3)

As an example, sugar cane based ethanol, in Scenario 3, would substitute for 10% of the gasoline utilization; it also would supply (with co-generation) 1.8% of the electricity used in Mexico (for all other sectors) and 0.6% of the total electricity in Mexico (for its own needs). On the other hand, the production system would need to use 1.0% of the fossil energy used in Mexico (diesel, Natural gas or fuel oil).

2.8 Summary and Conclusions

Mexico's strong dependency on oil and gas as primary energy sources (82.4% of Domestic Energy Supply) led to consider the possibilities for bio-ethanol blends with gasoline. The various biomass feedstock and conversion processes proposed, for Mexico conditions, present energy ratios (energy output / fossil energy inputs) varying from nearly one (corn: 1.3) to ten (sugar cane, with co-generation). Sweet sorghum ratio is ~4; wheat and sugar beets ratios are ~2; and cassava is ~1.

Four process options for sugar cane were analyzed; the energy ratio for the annexed distillery (energy efficiencies as today) would be only 2.7. The selected case is for a modern distillery with co-generation, using only bagasse.

The impacts in the energy sector of using ethanol blends are basically: the reduction of demand for gasoline and electricity (when there is surplus power co-generated) and the increase in demand of diesel and some electricity (for agricultural and industrial processes). Impacts of the introduction of 10% ethanol in gasoline in Mexico would be:

	Gasoline substituted % total gasoline	Electricity substituted % total electricity	(D+NG+FO) used, % total (D+NG+FO)
Sugar cane	10	1.8	1.
Corn	10		7.8
Sugar beets	10		5.1
Sweet Sorghum	10		2.6
Wheat	10		5.1
Cassava	10		10.2

(D + NG + FO): diesel + natural gas + fuel oil

With the choice of suitable systems the introduction of ethanol in gasoline in Mexico can provide a fast and efficient diversification of energy sources. Other opportunities (like the efficient use of bagasse / trash energy in the existing sugar mills, even for sugar production) would also be important.

3. Impacts on global climate: greenhouse gas emissions

3.1 Introduction; concepts and the world context

The 30-percent increase in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere since pre-industrial times corresponds to an average increase of 0.6ºC in the surface temperature of the planet. In the 21st century, the mean temperature may increase by more than 3ºC if the current trend is not changed. The Kyoto Protocol represents one step towards preventing an increase of up to 2ºC by 2050. The global climate models, yet evolving, always point to temperature rises but the uncertainties about the rainfall are high. There is no agreement on the results for rainfall, but climate extremes (droughts, severe storms) are expected to occur more often.

A vulnerability assessment of the agricultural sector should consider the simultaneous effects of the temperature (and rains) and the "fertilization" by the increased concentration of CO_2. There are not sufficient studies, and very little is known about specific regions.

Biofuels production and use, substituting for fossil fuels, may be of great importance to help mitigating GHG emissions in the near future. This depends strongly on the processes used to obtain the biofuel, particularly on the use of fossil fuels in the life cycle of biofuels production / utilization. In the Brazilian sugar-cane to ethanol industry, the "renewable energy produced to fossil energy used" ratio is 8.3; this is an extraordinary performance, allowing the industry to help avoiding *GHG emissions equivalent to 13 percent of the emissions from Brazil's entire energy sector (1994).*

Each biofuel (in its production / utilization life cycle) has a different ability to mitigate GHG emissions. In the following sections we will report the results for the ethanol from sugar cane (in Brazil) and ethanol from corn (USA), based on the two well known production systems, and estimate the values for the equivalent production in Mexico, with the production parameters today and some possible gains in the near future.

Some estimates for GHG emissions from cassava, wheat and sorghum ethanol production, with possible production systems in Mexico, are also developed. Actual data on these processes is still scarce and the estimates are much less accurate than for corn or sugar cane; but they are sufficient to allow for a preliminary evaluation of impacts.

It is important to note again (as we did in Chapter 2) that Bio-ethanol substitutes for gasoline; in blends up to 10%, it may be assumed (based on experimental data) that the substitution is nearly 1 liter ethanol for 1 liter gasoline (Nogueira 2006), concerning the vehicle economy (km/liter of fuel). This equivalence is used to calculate the avoided GHG emissions when using bio-ethanol, in this study. This is not done when considering higher blends, or even straight ethanol; in each case, the "practical" (achieved) relation for the commercial engines must be used. Even for the E-100 the use of the ratio between the heating values of gasoline and ethanol is not adequate, since the E-100 engines have a higher compression ratio (and consequently higher efficiency).

3.2 Greenhouse gases emissions in ethanol from sugar cane production and use; estimates for Mexico

The analysis of GHG emissions in the ethanol production in Brazil has been updated to 2002 (Macedo, Leal and Silva 2003). The summary of the main results in fossil energy use are presented in Chapter 2. The emissions of GHG were evaluated considering the fossil fuel uses in agriculture and in the industry, and also the emissions associated with sugar cane production, cane processing for ethanol and final use of ethanol (as fuel) that are not derived from use of fossil fuels; the most important are:

- Methane and N_2O emissions from the burning of sugar cane trash before harvesting;
- N_2O emissions from soil, due to fertilizer application

Results (Macedo, Leal and Silva 2003) show that for each ton of cane produced and processed to ethanol the average total emissions of GHG is 34.5 kg CO_2 eq. / t cane; best values are 33.0 kg CO_2 eq. / t cane. Those values correspond to **0.40 kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol (average),** for the Brazilian cane productivity and industrial yield.

The emissions avoided with the use of ethanol substituting for gasoline depend strongly on the engine technology used: in Brazil, it is accepted (based on the vehicle performance) that:

1 l of hydrous ethanol (E-100 engines) = 0.7 l of gasoline

1 l of anhydrous ethanol (E-25 engine) = 1 liter of gasoline

Since gasoline has (direct + indirect) GHG emissions of 2.80 kg CO_2 eq. / l gasoline, it is seen that the use of ethanol in blends with gasoline can avoid the emission of **2.40 t CO_2 eq. / m^3 anhydrous ethanol**, or 17.9 g CO_2 eq / MJ.

Using the same methodology for the four Cases studied in Annex 1 to represent different ethanol from sugar cane production systems in Mexico (near term) the following results are obtained:

Table 3.1 Summary of Greenhouse Gas Emissions and Avoided Emissions, ethanol from sugar cane, Mexico Case Studies (Annex 1) (kg CO_2 eq / l anhydrous ethanol)

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Emissions from processes	**0.84**	**0.43**	**0.43**	**0.36**
Diesel oil	0.07	0.07	0.07	0.06
Fuel oil	0.55	0.16	0.16	0.14
Natural Gas (power generation)	0.01	0.00	0.00	0.00
Cane burning	0.13	0.11	0.11	0.09
N_2O from soil	0.08	0.09	0.09	0.07
Avoided emissions	**-2.80**	**-3.15**	**-3.22**	**-2.80**
Surplus electricity	0.00	-0.35	-0.42	0.00
Anhydrous ethanol (1)	-2.80	-2.80	-2.80	-2.80
Net Avoided Emissions	**-1.96**	**-2.72**	**-2.79**	**-2.44**

(1) 1 L anhydrous ethanol ≅ 1 L gasoline, used in blends up to 10% vol. This has been shown in the Report on Task 5.

As in the study of energy impacts, we will consider an option like Cases 2 or 3 to be adequate for this analysis; They are well representative of the expected new, modern independent distilleries including co-generation; so emissions of ~ **0.43 kg CO_2 eq / l anhydrous ethanol** and avoided emissions of **2.72 kg CO_2 eq / l anhydrous ethanol** will be considered**.**

3.3 Greenhouse gases emissions in ethanol from corn production and use

The values presented for the energy ratio (see Chapter 2) are the "ethanol today" results from (Farrell 2006) with today's values for the U. S. agro-industry. The GHG emissions were calculated for the feedstock and fuel production (agricultural and bio-refinery) without including soil carbon sequestration. Again, CO_2, N_20 and methane were the gases considered, with their GWP for 100 years and IPCC coefficients. As in the case for sugar cane, emissions derived from fossil fuel utilization (direct and indirect) were considered, as well as emissions not related to fossil fuels (nitrous oxide from fertilizers, for example).

The results for the "ethanol today" case is: GHG emissions (kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol) are ~ **1.81** (kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol. Note that in that study the equivalence between gasoline and ethanol is not 1 liter to 1 liter, but is fixed by the heating value of the fuels; then the avoided emissions are relatively low (~13% with respect to gasoline).
Gasoline emissions (direct + indirect) are taken as 3.0 kg CO_2 eq. / l gasoline. This is a usual value for today's conditions (Farrell 2006).

The proposed ethanol from corn process in Mexico would be very much like the industrial processes in the U.S. today; also the productivities expected (see Table 6.4, Chapter 6) for irrigated areas would need the same levels of agricultural inputs, leading to approximately the same emissions. For this study we assume that the GHG emissions would be **1.8** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol. With gasoline emissions of 2.8 kg/l, avoided emissions ~**1.0** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol are achieved considering that one liter of ethanol substitutes for one liter of gasoline, in low ethanol content blends.

3.4 GHG emissions: ethanol from cassava, sorghum, sugar beets, wheat

As seen in the energy analysis of ethanol production from those substrates, in some cases (sugar beets, wheat) there is reliable information available (due to the existence of operating plants for some time). For sweet sorghum a significant volume of information was obtained from studies (yet at laboratory, pilot plant and agronomic testing scale) in Southern Africa (Woods 2000; Woods 2001). Cassava is a problem, since most of the data is old, based in very small ethanol plants; and the energy consumption values may be overestimated for today's technologies, as seen in Chapter 2.

With a Fossil Energy Ratio ~ 2.0, European studies for ethanol from sugar beets, from 1993 to 2002 (Fulton and Howes 2004) indicate GHG emissions reductions from 41 to 56% with respect to gasoline. Taking the estimate at 50%, the emissions would be ~**1.40** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol, and the avoided emissions would be also **1.40** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol. The same conditions apply to Mexico.

For sweet sorghum the fossil energy ratio determined in Southern Africa (Woods 2000), including both the agricultural and industrial processes, was 4.0; an approximation (ignoring emissions not relate to energy use) leads to emissions of ~ **0.70** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol, and avoided emissions of ~ **2.10** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol.

For wheat, results from European studies from 1993 -2000 (Fulton and Howes 2004) indicate a range of reduction in GHG emissions from 19 to 47% against gasoline. However it is considered that values very close to the results for corn, in the U.S., seem to be reasonable; so the emissions are ~ **1.8** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol, and the avoided emissions are ~ **1.0** kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol.

For cassava the assumed energy ratio (~**1.0**) leads to nearly zero avoided emissions; it will depend on the characteristics (GHG emissions) of the fossil fuels used in the process.

3.5 Impacts in Greenhouse gas emissions in Mexico

With the above considerations (and within the limitations of the data available) the expected impacts in the Greenhouse gas emissions in Mexico, for the Scenario 3 (10% ethanol blends) can be estimated as in Table 3.2.

Table 3.2 Expected impacts in the GHG emissions in Mexico with the introduction of 10% ethanol in gasoline; values for 2004

	Fossil Energy Ratio	GHG emissions, kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol		GHG emissions mitigation, Mexico 10^6 t CO_2 eq. / year
		In ethanol production	Net avoided emissions (1)	
Corn	1.3	1.8	1.0	3.9
Sugar Cane (2)	10.0	0.43	2.72	10.6
Sugar beets	2.0	1.4	1.4	5.4
Sweet Sorghum	4.0	0.7	2.1	8.2
Wheat	2.0	1.8	1.0	3.9
Cassava (3)	1.0		~ 0.	-

(1) Considering the emissions from gasoline as 2.8 kg CO_2 eq. / l gasoline, and the equivalence (in volume) of the two fuels when using blends with less than 10% ethanol.

(2) Avoided emissions with ethanol and surplus electricity use; Cases 2 and 3 (new units)

(3) Modern technologies (commercial) may improve the Fossil Energy Ratio, eventually making this an option closer to other starch (no residues) based systems

(5) Energy (external) used by the processes to produce the ethanol, as percentage of the fuel supply in 2004 (Diesel +NG+ Fuel Oil). When electricity is bought, the value equivalent to the primary energy for generation (fuel) is considered here.

(6) Sweet sorghum co-generated energy (with residues) covers a portion of the electricity needs, but here it is not producing surplus power. It may improve in the future.

(7) Corresponds to the installation of new units (Cases 2 and 3)

For the Scenario 2 the mitigation values (10^6 t CO_2 eq. / year) are proportional to the use of ethanol; in 2006 the use would be 0.912 M m^3 ethanol / year, against 3.897 M m^3 ethanol / year in Scenario 1; and the mitigation would be 23% of the indicated in (Table 3.2).

For Scenario 1, the ethanol needed (2004) for producing ETBE would be 0.412 M m^3, leading to a mitigation of approximately 10% of the indicated in (Table 3.2).

3.6 Summary and Conclusions

The greenhouse gas emissions in the production of ethanol (agriculture and industry) were estimated for the selected biomass feedstock and processes. As with energy, four cases were considered for sugar cane; and Case 3 (modern distillery, with co-generation) is included here. Results for the ethanol production process emissions, and the avoided emissions in Mexico for Scenario 3 (10% blend in all gasoline) are:

	Processes, kg CO_2 eq. / l anhydrous ethanol	Mitigation, Mexico; Scenario 3 10^6 t CO_2 eq. / year
Corn	1.8	3.9
Sugar Cane	0.43	10.6
Sugar beets	1.4	5.4
Sweet Sorghum	0.7	8.2
Wheat	1.8	3.9

Mitigation in the other Scenarios is proportional to the ethanol used. As expected, processes with higher energy ratio lead to higher mitigation values. Sugar cane (and cellulosic feedstock, once the processes are developed) may give a substantial contribution for reducing emissions.

4. Emissions and mitigation of local atmospheric pollutants from gasoline – ethanol and ETBE blends

4.1 Introduction

Emission of atmospheric pollutants from ethanol – gasoline blends have been evaluated for many years, benefiting from many programs in different countries; some of them in a large scale, and blends varying up to E-100 vehicles. The information for ETBE blends is more restrict, due to a much smaller utilization; actually, much of the available information is derived from simulation models, and comparisons with MTBE behavior. The installed capacity for ETBE production in Europe was only 1 M t / year, in 2005 (Koene and Puttmann 2005), although substantial conversion from MTBE plants is taking place. Fuel ethanol is being used in a much larger scale (see Chapter 1).

In the following paragraphs the main issues concerning the emissions of the most known pollutants are considered; then the cases of Aldehyde emissions, NOx and the implications of the increase in RVP due to ethanol blending are treated separately. The general behavior of air pollutants emissions with ETBE blends is presented.

4.2 The experience with ethanol blends, worldwide

4.2.1 General results

The large scale Brazilian experience with ethanol blended gasoline since 1977, and with pure ethanol engines (from 1979) indicates important environmental benefits concerning urban air pollution. The context (size and technology of the automotive fleet, local conditions, local legislation) has been extensively evaluated and allows some use of the results for other areas.
Considering the main pollutants usually observed in automotive (gasoline) engine emissions, a summary of significant results is shown in (Table 4.1) (CETESB 2004). They refer to the Brazilian automotive fleet from ~1978 to 1994, including engines using pure gasoline, C-gasoline (blend: anhydrous ethanol- 22%, gasoline 78%, volume) and pure (hydrous) ethanol.
It is seen that the use of ethanol led to important reductions in emissions of CO, HC and NOx from 1980 to 1994.

Table 4.1 Average tail pipe emissions, new vehicles; ethanol blends, Brazil (CETESB 2004) (g/km)

Model - Year	Fuel	CO	HC	NOx	R-CHO
Before 1980	Gasoline (pure)	54,0	4,7	1,2	0,05
	Gasoline C	33,0	3,0	1,4	0,05
1980-1983	Ethanol	18,0	1,6	1,0	0,16
	Gasoline C	28,0	2,4	1,6	0,05
1984-1985	Ethanol	16,9	1,6	1,2	0,18
	Gasoline C	22,0	2,0	1,9	0,04
1986-1987	Ethanol	16,0	1,6	1,8	0,11
	Gasoline C	18,5	1,7	1,8	0,04
1988	Ethanol	13,3	1,6	1,4	0,11
	Gasoline C	15,2	1,6	1,6	0,04
1989	Ethanol	12,8	1,4	1,1	0,11
	Gasoline C	13,3	1,3	1,4	0,04
1990	Ethanol	10,8	1,3	1,2	0,11
	Gasoline C	11,5	1,1	1,3	0,04
1991	Ethanol	8,4	0,6	1,0	0,11
	Gasoline C	6,2	0,6	0,6	0,013
1992	Ethanol	3,6	0,6	0,5	0,035
	Gasoline C	6,3	0,6	0,8	0,022
1993	Ethanol	4,2	0,7	0,6	0,04
	Gasoline C	6,0	0,6	0,7	0,036
1994	Ethanol	4,6	0,7	0,7	0,042

Independently of the technological advances implemented by the automotive industry (1980 to 1988) and technologies for emission control (from 1989) the pure ethanol vehicles (E-100) reduced more the emission of CO, HC e NOx than the vehicles using the gasoline blended (E-22).

Even in Brazil there is no extensive data to compare emissions resulting from pure gasoline and gasoline - ethanol blends, because very rapidly the E-22 became the only gasoline sold in the country. Using data up to 1989, a comparison between scenarios for the São Paulo Metropolitan Region (RMSP) (CNI 1990) indicated that, for vehicles at the same technological stage, the use of gasoline C (blended: E-22) instead of pure gasoline, for the entire fleet, would lead to less CO (- 39%) and less HC (- 33%) emissions. However, NO_x would increase 10%. The same study shows that if pure ethanol (hydrous) were used, less CO (-65%), less HC (58%) and no changes in NOx would be observed with respect to the use of pure gasoline. The results refer to the fleet up to 1989 (with the commercial technologies used at that time).

Ethanol had another very important effect in Brazil: its high octane number led to the phasing out of the lead based additives to gasoline (since 1990). Concentrations of toxic lead compounds in the atmosphere were reduced in 75% in the RMSP (CETESB 1989). High ethanol (22%) blends allowed for the use of gasoline with lower aromatic compound concentration, thus with lower toxicity and photochemical reactivity.

Vehicles with electronic injection systems and evaporative emission control (standard in today's production) are very efficient in controlling emissions from gasoline – ethanol blends. In Brazil, the 2003 vehicles using 22% ethanol blends averaged emissions of 0.75 g/test (CETESB 2003), (U.S. SHED test procedure). The current limit (2 g/test) is adopted in most countries with advanced emission control programs.

It is interesting to note that test results for all the E-100 models in Brazil (in 2001) indicate the following averages (U. S. FTP-75 driving cycle): CO: 0,66 g/km; HC: 0,15 g/km; NOx: 0,08 g/km; Aldehydes: 0,017 g/km. Evaporative emissions (U.S. Shed test) were 1,3 g/km, without the use of Activated Carbon canisters.

Since 1995 the more efficient emission control systems made the gasoline or blended gasoline cars almost equal with respect to the classical pollutants; however the ethanol blends still lead to lower CO emissions, lower toxicity and photochemical reactivity of the emissions (organic compounds), nearly zero Sulphur and lower particulate matter.

Data from some other countries is available. A comprehensive Australian study (Apace 1998) found that the use of E10:

- Decreased CO emission by 32%;
- Decreased HC emission by 12% ;
- Decreased toxic emissions of 1-3 butadiene (19%), benzene (27%), toluene (30%) and xylene (27%);
- Decreased carcinogenic risk by 24%.

The use of E10 blends to reduce harmful wintertime CO emissions has proven to be a very effective strategy in the USA. Tests at the National Center for Vehicle Emissions Control and Safety at Colorado State University document a 25% to 30% reduction in CO when automobiles burn E10 (Apace 1998).

4.2.2 Aldehyde emissions

Aldehyde (R-CHO) emissions have been traditionally associated with ethanol, although they appear also with gasoline and diesel. Actually, diesel can be a much more important aldehyde source than gasoline-ethanol blends in urban areas. In Table 4.1 it is seen that in Brazil aldehyde emissions did not increase significantly with gasoline blends up to 22%, and they were further reduced in the 80's and 90's. They were higher for pure ethanol, but they were gradually reduced reaching in 1992 levels equivalent to pure gasoline emissions, in the 70's. Aldehyde emissions from high ethanol content blends, in Brazil, typically reached in 2003 a value of 0.004 g/km (acetaldehyde + formaldehyde), which is about 45% of the strict California limit (required only for formaldehyde).

Aldehyde emissions when using blends with low ethanol content (E-10) were evaluated in the U.S.; measurements of ambient aldehyde concentrations in Denver, Colorado, from 1987 to 1995 (before and after the introduction of E-10) showed no significant difference for both formaldehyde and acetaldehyde (Anderson 1997) emissions. A study by the California Air

Resources Board Commission (CARB 1999) predicted no increase in acetaldehyde concentration in 2003, as compared to 1997 (when no E-10 was used). Actually, reductions of 10% in formaldehyde, 30% in benzene and 45% in 1,3 butadiene were predicted.

It must be said that the aldehyde emissions due to ethanol (mostly acetaldehyde) present much lower toxicity and photochemical reactivity (as precursors of smog formation) than the formaldehyde emissions from diesel or gasoline.

4.2.3 The NOx emissions

In the last years, there has been some concern that the use of ethanol-gasoline blends could result in an increase of nitrogen oxides (NOx) emissions. The emission of NOx from internal combustion engines has been extensively studied since the early sixties; according to the Tokyo Metropolitan Government (Kankio 2003) vehicles are responsible for 65% of total NOx emissions in the region, being diesel vehicles responsible for 70% of overall NOx vehicle contribution. However, emission limits for diesel vehicles have been usually more lenient than those established for gasoline vehicles; the current NOx emission limit in Japan for light-duty gasoline vehicles in 2005 was 0.05 g/km but for the same class of diesel vehicles the limit is 0.14 g/km.

Emission of NO corresponds to nearly 90% of the NOx, in gasoline engines; formation of NO occurs within the combustion chamber, and *the combustion gas temperature is the key factor that controls the NO formation process and not the fuel itself*. For this, the most important engine operating variables are air-fuel ratio, spark-timing, air-fuel charge dilution, engine load and speed. Engine design parameters have also an important role in thermal NO formation (Sher 1998).

So, *NOx emissions can vary substantially depending on vehicle design, engine characteristics and calibration, emission control technology, maintenance and vehicle operation conditions.*
Ethanol is an oxygenated fuel; blending ethanol to gasoline leads to an "air-fuel enleanment" that may either increase or decrease NOx emission or even have no effect, depending on vehicle characteristics and maintenance. Also ethanol has a higher “latent heat of vaporization” than gasoline and may contribute to lower combustion temperature (helping to reduce NOx); besides, the ”solvent” effect of ethanol (cleaning the combustion chamber from deposits) might help to avoid the increase of NOx with mileage accumulation or even reduce NOx after cleanup is completed.

Some comments might help in the evaluation of ethanol blends and their NOx emissions (Szwarc 2005):

- NOx emission varies according vehicle operating conditions; at idle, a common situation in congested traffic, the emission is nearly zero and enleanment effects due to ethanol will be hardly noticed. At part throttle and low load conditions, a very common situation during urban driving, NOx emissions may not be greatly affected due to enleanment by blends. At full load vehicles may experience a more pronounced “enleanment” effect. Traffic is important: data from the Japan Automobile Research Institute shows that a reduction of average speed from 40 km/h to 10 km/h can double NOx emission, due to the stop-and-go driving pattern.

- The portion of the fleet in Mexico equipped with state-of-the-art "adaptive-learn closed-loop" three-way catalytic converter systems can reach high emission control efficiency of volatile organic compounds (VOC), carbon monoxide (CO) and NOx. These vehicles are capable of self-adjustment within ranges that may accommodate ethanol blends in various operating conditions.
- More important: existing data indicates *that the possible NOx increase due to the use of ethanol-gasoline blends is generally marginal or of small relevance especially if analyzed on a mass basis contribution to air pollution*. Actually it can be questioned whether this increase is significant when considering that standard deviation of current emission test measurements may be as high as 40%. Current emission values have reached extremely low levels and laboratory tests uncertainty is a challenge to emission data interpretation. This point is further analized in Annex 7, when the recent evaluation made in Japan is presented.
- Southern California, USA, has been fighting smog precursors such as NO_2 for decades. Ethanol-gasoline blends started to be used in California in a sizable scale during 2002 and the transition from MTBE-gasoline blends to ethanol-gasoline blends was completed in 2003. Ambient concentrations in two important air basins located in Southern California – San Diego Air Basin and South Coast Air Basin – indicate that annual average levels of NO_2 have not increased with ethanol use from the period MTBE was the prime oxygenate blend stock (CARB 2004).

Mexico and Brazil (as well as many other countries) has established more strict limits for NOx emissions in the next years; this is presented in Annex 7. It seems that the proposed limits can be achieved with ethanol blends (in fact, they have already been achieved with current technology as shown in the Japanese tests).

If analyzed in a balanced way it becomes clear that the issue of NOx emission from ethanol-gasoline blends is not serious as initially thought. In fact diesel vehicles and congested traffic tend to be far more critical in this regard, not to mention NOx emissions from other common sources that are difficult to control such as household cooking; therefore NOx should not be taken as a limiting factor for use of ethanol-gasoline blends. Overall benefits of ethanol blends use with regard to both urban pollution and greenhouse gas emissions should be the key reference.

4.2.4 Vapor Pressure of gasoline - ethanol and blends

The vapor pressure expresses the fuel volatility; at 37.8 C (and in specified measuring conditions) it is called the Reid Vapor Pressure (RVP). For gasoline, RVP is between 45 and 65 kPa (1 kPa = 0.145 psi). For anhydrous ethanol it is 18 kPa, and for hydrous ethanol it is 16 kPa. For ETBE the RVP is 28 kPa. The RVP is an indicator of the gasoline ability to allow the engine cold start; but also the possibility of vapor bubbles in the fuel pump (vapor lock), and of the relative level of evaporative emissions. Before considering ethanol – gasoline blends, it must be remembered that even for pure gasoline the RVP is adjusted to pre-determined levels with the addition or removal of light hydrocarbons (C1 to C5) so *that fuel specifications are reached to comply with weather conditions and environmental protection (evaporative emissions)*. The same procedures are used for ethanol – gasoline blends, since the

blend composition is pre-determined and the influence of ethanol in any gasoline can be measured.

The experience with blended gasoline shows that:

- Blend volatility varies as a function of the base gasoline composition (and can be adjusted)
- Blend volatility varies as a function of the ethanol content in the blend; for a given gasoline there is a peak in volatility for a certain ethanol concentration (it varies with the gasoline); beyond that concentration, the volatility will be reduced.
- RVP is a very limited indicator for volatility for ethanol – gasoline blends; a more accurate description would use also the Distillation Curve, and the vapor-liquid ratio, at a given temperature, as the Mexican specifications (SEMARNAT 2006) in 2006.

Typically, blends of ethanol in gasoline will lead to an increase of 1.0 to 1.2 psi in RVP, depending on the formulation of the base gasoline, up to the oxygen content of ~5% by volume; higher oxygen content leads to a slowly decreasing RVP (NEIWPCC 2001; Furey 1985).

Standards for gasoline with the parameters to help controlling evaporative emissions have been modified in the last years; in the U.S., the EPA Reformulated Gasoline (RFG), the California Reformulated Gasoline (CA RFG); the Arizona Cleaner Burning Gasoline (Arizona CBG)**;** the Nevada Cleaner Burning Gasoline (LVCBG) are some examples. Also gasoline blend stocks for oxygenate blending have been specified, as well as gasoline for specific months.

The California Air Resources Board Reformulated Gasoline – Phase 3 Standards (CARB 3 RFG), from January 2003, relaxed standards for distillation temperatures (T_{50} and T_{90}), adding flexibility to allow for MTBE substitution (ethanol, other) and added flexibility to RVP standards (Drogos 2000). The relevant parameters are shown in (Table 4.2).

Table 4.2 CARB 3 RFG Standards (selected parameters)

	Flat Limit	**Average Limit**	**Cap Limits**
RVP, psi	7.0	N A	6.4 - 7.2
Oxygen %, W	1.8 – 2.2	NA	0 – 3.5
T_{50}, ^{0}F	213	203	220
T_{90}, ^{0}F	305	295	330

T_{50}, T_{90} : temperatures at which 50% and 90% of the gasoline volume is vaporized

In another example, the average properties of the gasoline supplied to the CBG (Arizona's Cleaner Burning Gasoline Program) covered area in Arizona, 2003 – 2004, indicate a RVP of 6.5 psi (Summer) and 8.6 psi (Winter) with an ethanol blend of 10% volume (Winter) (MathPro 2005).

The specifications for gasoline in Mexico are determined in the Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, "Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental" (10-January-2006); (SEMARNAT 2006).

Gasoline volatility levels are defined with the Volatility Class (ranges of Reid Vapor Pressure and Distillation Temperatures for 10, 50 and 90% of the gasoline), and Protection against vapor lock (temperatures to reach a vapor/liquid value of 20). The essential figures are in (Table 4.3) and (Table 4.4).

Table 4.3 Standards for vapor lock prevention; Mexican specifications

Vapor Lock Protection Class	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Temperature (^{o}C) to reach a vapor/liquid ratio of 20 (ASTM D 2533-99)	60	56	51	47	41

Table 4.4 Vapor pressure and distillation temperatures for gasoline, for each volatility class; Mexican specifications (1)

		Volatility Class (1)			
Property	**Unity**	**AA**	**A**	**B**	**C**
RVP (2)	kPa (psi)	45 to 54 6.5 to 7.8	54 to 62 7.8 to 9.0	62 to 69 9 to 10.0	69 to 79 10 to 11.5
Distillation Temp, 10%	^{o}C (3)	70	70	65	60
Distillation Temp, 50%	^{o}C	77 a 121	77 a 121	77 a 118	77 a 116
Distillation Temp, 90%	^{o}C	190	190	190	185
Final Ebullition Temp	^{o}C	225	225	225	225
Distillation Residue, max.	% vol	2	2	2	2

(1) Corresponding to the ASTM D 4814-04be1 standard

(2) Determination as in ASTM 0323-99[a]

(3) All temperatures normalized at 101.3 kPa; determined by STM 086-05

Acceptable volatility levels are assigned for each of six geographic regions (Noreste, Centro-NE, Sureste, Bajío, Centro and Pacífico, this with four sub-regions) plus the special cases of the Metropolitan areas of Valle de México, Guadalajara and Monterrey, for each month of the year.

For most of the cases, the volatility limits for the winter season (June to August) are set at A-1, and at B-2 (eventually C-3) for the rest of the year. Exceptions are the ZMVM and ZMG, with much more severe restrictions: AA-2 (March to June) and AA-3 for the rest of the year; and Monterrey, with B-2 (March-September) and C-3 for the rest. The AA-2 volatility is similar to the CARB 3 RFG standards set for summer.

In Brazil, the volatility characteristics in the gasoline standards (for ethanol blends up to 24%, volume) (ANP 2001) are shown in (Table 4.5).

Table 4.5 Volatility of gasoline; Brazilian specifications (ANP 2001)

Properties	Unity	Normal Gasoline		Premium Gasoline	
		A	C	A	C
Distillation					
10% evap. max.	^{o}C	65	65	65	65
50% evap. max.	^{o}C	120	80	120	80
90% evap. max.	^{o}C	190	190	190	190
Ebullition, max.	^{o}C	220	220	220	220
Residue	% vol	2.0	.0	2.0	2.0
RVP, 37.8 ^{o}C	kPa	45.0 to 62.0	60.0 max	45.0 to 62.0	69.0

Gasoline A: pure gasoline base (to be blended)
Gasoline C: blended gasoline

"It is highly unlikely that exposure to airborne ethanol associated with gasoline use could produce toxic effects. The reasons for this are (a) the tiny doses that might be received, which might not be observable in light of endogenous levels of ethanol in blood, (b) the body's rapid elimination of ethanol, and (c) the relatively large doses of ethanol and high blood levels of ethanol associated with toxic effects in people" (Armstrong 1999). Ethanol at low air concentrations should not constitute a risk for the general population (Andersson and Victorin 1996).

Looking at all the experience with ethanol – gasoline blends, it can be said that the evolution of the standards and the improvement in refining suitable base gasoline led to the safe use of the blends as far as evaporative emissions are concerned. Also, the use of E-10 at high altitudes (such as in Colorado, U.S.) and in high ambient temperatures (Brazil, Australia and South Africa) has not led to problems with vapor lock.

4.3 Impacts of ETBE blends

ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) is produced reacting ethanol and isobutylene; it was proposed as an oxygenate (as well as MTBE) because they can use the excess butanes in the refining industry resulting from the phase-out of lead. It is also an octane enhancer; and its low solubility in water (compared to ethanol) was one of the advantages much considered in the early 1990's with respect to the use of neat ethanol. One important effect of ETBE blending in gasoline properties is its ability to lower the blend RVP; for example, when added at 2.0 % oxygen to Reformulated Gasoline (at 7.1 psi RVP) it lowers the RVP (- 0.48); with MTBE at the same oxygen level, the result would be a small increase in RVP (+ 0.02) (CFDC 1998).
The overall effect of using ETBE – gasoline blends on air pollutant emissions may be seen in the (Figure 4.1) (CFDC 1998).

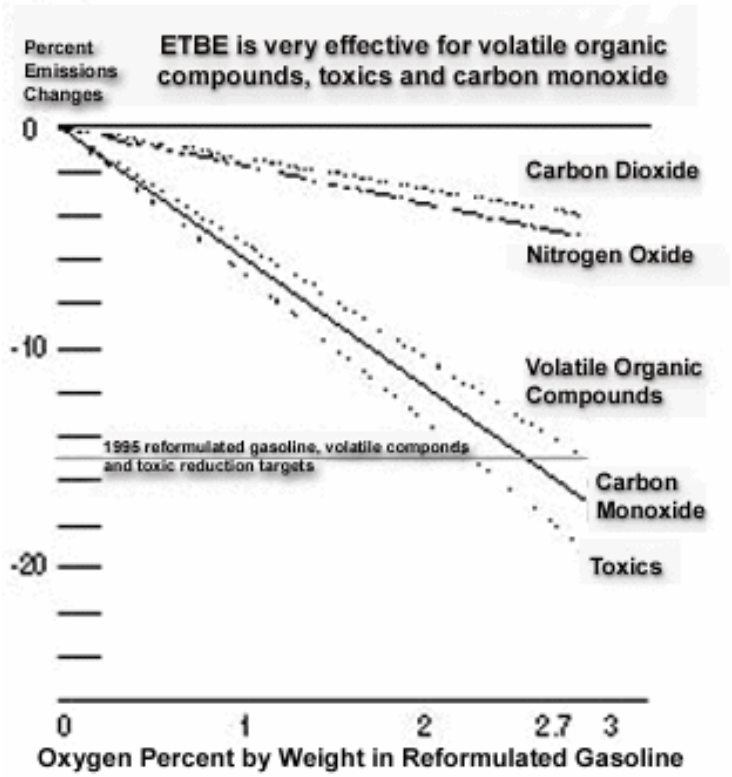


Figure 4.1 Air pollutants emissions with gasoline-ETBE blends
As it is seen, ETBE would present results similar to MTBE as far as air pollutants are concerned.

4.4 Summary and Conclusions

Atmospheric emissions from ethanol – gasoline blends have been well evaluated, but the information for ETBE blends is very limited, for its much smaller utilization. Ethanol blends have been used in Brazil and in the U.S. for the last 30 years.

The large volume of information (in many countries) on ethanol – gasoline blends indicates important reductions in CO emissions (as expected) independently of engine technology; also reductions in HC and toxic emissions (benzene, toluene, xylene); nearly zero Sulphur and lower particulate matter.

Aldehyde (formaldehyde and acetaldehyde) emissions even from high ethanol content blends were in 2003 (Brazil) less than half of the California limit; low ethanol blends (E-10) evaluated in the U.S. showed no difference in emissions before and after the blend introduction (Anderson 1997). This is also found in simulation studies (CARB 1999). Aldehyde emissions due to ethanol blends present much lower toxicity and photochemical reactivity than the formaldehyde emissions from diesel or gasoline.

NOx emissions from gasoline – ethanol blends: NO corresponds to nearly 90% of the NOx, in gasoline engines; the combustion gas temperature is the key factor that controls the NO formation process and not the fuel itself (Sher 1998). NOx emissions vary depending on vehicle design, engine characteristics and calibration, emission control technology, maintenance and vehicle operation conditions (also traffic conditions). Existing data indicates that the possible NOx increase due to the use of ethanol-gasoline blends is generally very small (Szwarc 2005). The ambient concentrations of NO_2 in two areas in Southern California have not increased with ethanol blends use (CARB 2004).

Vapor Pressure of gasoline - ethanol and blends: blends of ethanol in gasoline lead to an increase of 1.0 to 1.2 psi in RVP, depending on the formulation of the base gasoline, up to the oxygen content of ~5% by volume; higher oxygen content leads to a slowly decreasing RVP (NEIWPCC 2001; Furey 1985). As with pure gasoline the volatility must be adjusted to pre-determined levels with the addition or removal of light hydrocarbons (C1 to C5) so that fuel specifications are reached (after blending) to comply with weather conditions and environmental protection (evaporative emissions). The evolution of the standards and the improvement in refining suitable base gasoline led to the safe use of the blends as far as evaporative emissions are concerned. Also, it is highly unlikely that exposure to airborne ethanol associated with gasoline use could produce toxic effects (Armstrong 1999).

ETBE blends with gasoline result in lower RVP; at 2.0 % oxygen to Reformulated Gasoline (7.1 psi RVP) a reduction of (- 0.48) is obtained (CFDC 1998). It has been effective with reductions at ~15% for CO, toxics and VOCS (blend at 2.7% Oxygen, in RFG).

5. Emissions from sugar cane burning and bagasse boilers: possible health effects, other risks

5.1 Sugar cane burning emissions

This Chapter refers specifically to air pollution issues pertinent to the sugar cane industry (not the other biomass feedstock considered in the study). Today, most of the sugar cane in Mexico is harvested after burning portion of the trash (dry and some green leaves) in the field. This is a common practice in most of the 97 countries in the world that grow sugar cane commercially; it aims at improving worker's safety and harvesting yields.

Nevertheless, it has been subject to discussion and specific regulations in some places, mostly due to the possibility of health problems arising from the smoke near urban areas (Paes 2005). Several works were conducted in the U S, Brazil (Miranda, Dorado and Assunção 1994) and other countries in the 1980's and 90's in order to clarify whether the emissions from sugar-cane burning were harmful to health. Several papers show no direct relationship between exposure to cane burning smoke and damage to health; the occurrence of respiratory diseases and mesothelioma (lung cancer) were not associated with BSF exposure. However, the incomplete burning of sugar cane trash promotes the release of particulate matter, causing discomfort in urban areas and the smoke may cause risks to areas with electric networks and highways.

The emission of greenhouse gases in sugarcane burning has been considered in Chapter 3.

The pressure to avoid cane burning practices, today, comes from two main points:

- The discomfort to people and possible risks in specific areas
- The (more recent) possibilities of using portion of the trash biomass to produce commercial "clean" energy

On the other side, green cane harvesting in the large scale required for the sugar cane plantations implies in the use of mechanical harvesting, with the characteristics:

- Today limited to areas with small declivity (< 12 degrees)
- Drastic reduction in the labor force required for harvesting (in Brazil, one harvester substitutes for 120 workers; this causes problems, in some regions)

Solutions are clearly regional, depending on the specifics of the areas involved. In many situations the areas involved are far from urban areas, and the emissions are not felt as a nuisance. In the S. Paulo state (Brazil), with a high population density and a large area of sugar cane plantations (39 M inhabitants; 158 hab/km^2; sugar cane area 2.8 M ha in 2003) the legislation passed gradually prohibits the burning, with a schedule that considers the technologies available and the expected unemployment, including immediate prohibition in risk areas. The control of sugar-cane burning in Brazil was first based in a law (São Paulo State government, 1997). Today the Law 11241 (2002, State of São Paulo), and decree 2661 (1998, Federal Government) regulate the procedures. Both of them provide for a burning elimination schedule and specify prohibition areas as protection ranges near urban perimeters, highways, railways, airports, forest reserves and preservation units, among other. They also

determine specific safety procedures for the burning operation. (Table 5.1) shows the sugar-cane burning reduction schedule set forth by the federal and state legislations.

Table 5.1 Cane Burning Reduction Schedule; Brazil and São Paulo State

State Decree (São Paulo) 2002			**Federal Law (Brazil) 1998**		
Year	**Areas Where Mechanical Harvesting is Possible (1)**	**Areas Where Mechanical Harvesting is Not Possible (1)**	**Year**	**Areas Where Mechanical Harvesting is Possible (1)**	**Areas Where Mechanical Harvesting is Not Possible (1)**
2002	20%				
2006 (5th year)	30%		2003 (5th year)	25%	-
2011 (10th year)	50%	10%	2008 (10th year)	50%	-
2016 (15th year)	80%	20%	2013 (15th year)	75%	-
2021 (20th year)	100%	30%	2018 (20th year)	100%	-
2026 (25th year)		50%			
2031 (30th year)		100%			

(1) Area where mechanical harvesting is possible: tilt <12%

The S Paulo legislation implies that all burning will terminate in 2031 (this is not required in other states). Areas with higher declivities would reduce their competitiveness, and the production is expected to migrate to regions featuring better topographic characteristics, unless new harvesting technologies are made available.

This problem is seen differently in many countries. The “universal” cane burning procedure will eventually be controlled by the larger use of mechanical harvesting and the interest in improving the energy ratio for ethanol / other energy production. Today the increasing utilization of mechanical harvesting is leading to a large surplus of biomass (trash) in the field; technologies are under development to recover the material at low cost, and use it for electricity production.

Sugar cane burning controls (if required, depending on location of the cane areas) would go trough the same procedures: selecting areas where burning is forbidden (near urban perimeters, highways, railways, airports, forest reserves and preservation units) and eventually establishing a non burning schedule for proper (low declivity) areas.

5.2 Bagasse boiler emissions

Emissions from bagasse boilers are strongly dependent on the burners (from old pit furnaces up to modern suspension burning), on the exhaust cleaning systems (from natural convection boilers to water scrubbers and filters) and on the operation. In general, since no sulfur is present, the emissions to be considered are Particulate Matter (PM), NOx (mainly NO_2) and ozone. Biomass burners are extensively used worldwide, and the necessary controls are well known. In many places the only indicator used is the smoke color; but here again the proximity of urban areas is determinant for the limitation in NOx and PM.

It is considered that the equipment available today is able to limit emissions to the specified values (they vary with location, even within a country). The gradual phasing out of old boilers is helping to improve the performance. A program for ethanol from sugar cane in Mexico using new distilleries would have no problem with boiler emissions, with the current technology.

5.3 Summary and Conclusions

Most of the sugar cane in Mexico is harvested after burning portion of the trash (dry and some green leaves), as in most countries. Cane burning emissions have not been associated to chronic diseases; however the release of particulate matter may cause discomfort in urban areas, and the smoke may cause risks in areas with electric networks and highways, and fire hazards. Green cane harvesting has been associated with mechanical harvest, with limitations in areas of high declivity and reducing the number of jobs.

Solutions are local, depending on the specifics of the areas involved. Controls may include burning prohibition in some areas (urban perimeters, highways, railways, airports, forest reserves and preservation units) and gradual phasing out in other areas. Sugar cane trash is becoming valuable as a source of additional clean energy, and this will accelerate the implementation of green cane harvesting in many places.

Bagasse boilers are conventional biomass boilers (relatively low temperatures) and the emissions associated are well known (PM, NOx, ozone); they can be controlled in modern boilers.

6. Land availability; food security and energy crops

6.1 Land utilization: the world context

Land utilization (in a sustainable way) is a growing concern for every country. The possibility of using land to produce energy (as in the case under study here) is to be considered in the context of other needs, among which food production is the most important. Environmental restrictions (preserved areas for biodiversity, for waterways protection, etc) may correspond to very large areas, in some countries.

Most governments will look for one main objective, when considering agriculture: ensure secure and low cost food supplies. There are different ways to meet this objective; among them, investments in infrastructure, technology, subsidies, protectionism, etc. Fast urbanization has been a consequence (and puts more pressure) on the impoverishment of rural populations, led to increase production with less jobs and lower prices of foodstuffs.

The issues related to "food security" are seen in different ways for each country, independently of being developed or in development. The definition of "food security" is not really universal; it may be based on being self sufficient in food production to feed its population (at least in the so defined "basic foods" for the specific country); or in being able (in the foreseeable future) to keep the necessary economic conditions to import some of the food needed and not produced locally. Today's trend to a more global economy leads to a growing use of imported food products in almost any country, and most countries are importers and exporters of those products, simultaneously; in the other side, the uncertainties of the international markets make it difficult to rely on specific trade surpluses as a basis for importing large amounts of food products for a long time. So, except in some special cases (and large oil exporters today are one of those exceptions) countries will look for providing at least a fair amount of the "basic food products" they need for internal consumption with their own resources.

It is important to consider that almost 90 % of the agricultural production worldwide is consumed in the country of origin; this gives an idea of the strength of the "food security" concepts. Some facts illustrate the situation today (Clay 2004):

- Developed countries are net exporters of all cereals (except Japan), and most developing countries are net cereal importers (except for some South American)
- Similarly, developed regions are net exporters of meat (except Japan, Eastern Europe) and most developing countries are net importers (except, again, some of Latin America).

On the other side, in many countries the transition to more open markets is leading to very difficult situations with regard to food security. India (with 25% of the farmers in the world) recently opened its markets (Fulton L. 2005); imports led to much lower prices for foodstuffs and eliminated some of the local production (edible oils, for instance). In some regions (Andhra Pradesh for example) rural population will decline for 70 to 40%, in the next years.

The recent interest in Energy crops adds more complexity to the problem of adequate land utilization. Biomass feedstock for energy may be based on existing food/feed crops (such as

sugar cane sucrose or corn starch for ethanol; soy beans for biodiesel); on residues from existing food/feed crops (bagasse from sugar cane, corn stover); on residues and waste from forest (wood) products; and on organic municipal solid waste (MSW). However, the potential for dedicated "energy" crops is the most important to be considered and each region may have a different set of options. The use of wastes will not present any conflict (land availability) with food production. Some recent studies are adequate to provide a world context for the situation in Mexico.

From 13 billion ha of land in the Earth, 1.5 billion are used for crops today; 3.5 are pastureland; 0.5 are "built up" and the balance is forest land or "wasteland" (Fulton 2005). Regional distribution of used and available land may be summarized as shown in (Table 6.1).

Important regional differences are clear: seven countries (four in South America, three in Sub-Saharan Africa) have 50% of all the suitable (for agriculture), not used land in the world.

Table 6.1 Land distribution in the World

	Suitable for rain fed crops 10^9 ha	**Arable land in use, 1997-1999, %**
Latin America and Caribbean	1.07	19
Sub-Saharan Africa	1.03	22
Industrial Countries	0.87	44
Transition Countries	0.50	53
Asia	0.59	75
Near East and North Africa	0.10	86

Basic questions to evaluate the food /energy situation are:

- what cropland area will be needed in the next 50 years, and *how much pastureland can be converted to cropland*;
- how can new technologies (both agricultural and industrial) change those figures, and the possible extent of "energy" farming; and what would be the implications for sustainability.

A recent study (Smeets, Faaij and Lewandowski 2004) looked at the history and projected (1961 to 2050) *per capita* regional food intake and crop yields (9 main crops); at the "abandoned" crop/pasture areas; the (renewable) water availability and the water uses (up to 2030); and considered four scenarios (crop yields: with irrigation, with "high technology" plants, with confined livestock, etc). It arrived at the possibility of 200 – 1200 EJ / year of (primary) bioenergy. If used for transportation fuels production, half of this biomass would yield 50 – 300 EJ/year. The use today is 80 EJ; projection for 2050 is 175 EJ (Smeets, Faaij and Lewandowski 2004).

Region (and crop) specific studies made in the last years have focused on the availability of cellulosic feedstock, including crop and forest residues, and urban / mill wastes, besides energy crops. They are usually more conservative than a "global" estimate, including

restrictions known to the specific location. Examples are (Sheehan 2000); (Walsh 2000); (Haq and Easterly 2005), in the USA; and (Hamelinck, van Hooijdonk and Faaij 2005) in Western Europe.

6.2 Mexico's land availability for agriculture

The Report on Task 3, in this Project (Lazcano 2006a) shows that from the 197 M ha of territory in Mexico about 61% present a humidity deficit (severe, for 45%) with arid or semi-arid climate; not only in the Mexican Altiplano and Northwest, but extending to some of the Central and South regions. Rain usually falls in the hot season (May – October); the arid regions (45%) receive up to 300 mm water /year, the semi-arid humid (16%) 300 – 600 mm water; and the humid regions from 600 to 4000 mm. For altitudes lower than 1000 m, temperature averages above 20 C are found south of the 20^{o} N parallel; and temperatures above 24 C north of the 20^{o} N parallel.

Considering the water availability, temperatures, soil fertility, and topography, the conclusion (Lazcano 2006a) is that the *regions that can support rain fed agriculture* are located in Tabasco, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Morelos, Chiapas, Colima, Campeche, and México. The *regions where irrigation is needed* are in Baja California, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Durango, Tamaulipas, Guanajuato, Querétaro y Puebla.

A summary of soil utilization in Mexico is shown in (Table 6.2).

Agriculture (including wood plantations) may use ~16% of the area, or 30. M ha; *in 2003 the cultivated area was only 21.8 M ha* (16.7 rain fed, 5 irrigated) (Lazcano 2006a). Irrigation uses 9 000. m^3 water /ha (average) and its use must be carefully planned; today 1/3 already uses underground water. Irrigation corresponds to 84% of the total water consumption (agriculture, domestic and industrial sectors) according to the Comisión Nacional del Agua (Lazcano 2006a).

Besides that area, the conversion of some pasture land (mainly the extensive cattle rising, natural pastureland) to cropland is one of the possibilities to extend the so called "agricultural frontier". In many places in the world large portions of the pastureland area correspond to highly anthropized, degraded lands, and most of it can be reclaimed for other purposes with the introduction of more advanced technology.

Table 6.2 Main soil utilization and vegetation, 2002

Soil utilization	Area, M ha	%
Forests (disturbed or not)	69.0	35.7
Arid region vegetation	57.6	29.8
Pasture land		
Natural	10.2	5.3
Cultivated	17.5	9.1
Agricultural land		
Irrigated	8.5	4.6
Rain fed	21.3	11.0
Other uses	0.8	4.0
Urban areas	0.1	0.6

Source: Semarnat, Compendio de Estadisticas Ambientales 2002, Mexico DF 2003; quoted by (Lazcano 2006a)

As stated in the Report on Task 3 (Lazcano 2006a), *in the regions on the South-Southeast (Veracruz, Chiapas. Tabasco, Campeche y Yucatán) the pastureland occupies 7 M ha and in suitable places the production of energy crops could be developed. Sugar cane could be developed (in rain fed conditions) to achieve more than 70 t / ha in ten years. Sugar cane is the most profitable culture in rain fed conditions.*

The first conclusion is that, today, there are areas suitable to produce energy crops without direct competition with food production. However Mexico's agriculture is undergoing a strong structural transition in the last ten years, and the future is still unclear; the problems (today) and possibilities are outlined in the next pages.

Increasing productivities in the agricultural areas has also to be considered when looking for land availability. In general productivity has increased in Mexico for the last years for most products, but there is room for improvements. The main factors have been summarized as follows:

- Water utilization (irrigation): it is already largely used; water availability is a problem, but in some regions it may increase
- Genetic material: seed quality is adequate to the specific needs (either improved or "criollas"). For clone propagation (sugar cane) the genetic improvement program must be re-established to provide a stronger varietal basis (higher productivities, quality and production safety).
- Fertilizer utilization: there is a deficit in fertilizer utilization today in almost all areas, due mainly to higher costs (80% is imported)
- Mechanization: mostly at medium / low levels; this is due to topography and to the inadequacy of the equipment to very small agricultural properties.

Among the main crops in Mexico, three may be considered for ethanol production: corn, sorghum (grain) and sugar cane. They use today a significant area, as seen below:

Table 6.3 Areas for some selected products, 2004

Crops	Rain fed M ha	Irrigated M ha	Total M ha	Production M t / year
Corn (annual)	7.08	1.33	8.41	21.70
Sorghum (annual)	1.60	0.35	1.95	7.00
Sugar cane (perennial) (1)	0.24	0.37	0.61	47.80

(1) 2003/04

The differences in productivity between irrigated and rain fed crops, in the average Mexican conditions, are very high: sugar cane, 88.4 to 65 t / ha; corn, 6.36 to 1.87 t /ha; and sorghum (grain), 6.21 to 3.0 t / ha. Correspondingly, the average value of the agricultural production / ha (2003) was 3.5 times higher for irrigated crops (Lazcano 2006a).

In general, it is seen that there is room for improvement in productivities. Considering the area and water availabilities, pursuing higher productivities is of course essential and it is one of the issues in the complex transition of the Mexican agriculture to a new situation, as discussed in the following paragraphs.

6.3 Areas needed to supply the biomass ethanol production in the proposed Scenarios

(Table 6.4) shows the approximate areas needed to support the programs considered in the three Scenarios. The previous work done in this project (Lazcano 2006b) indicated the areas and conditions used to prepare this summary. It is seen that at least two crops (sugar cane and sugar beets) would need less than 1 M ha to reach the production for 10% of gasoline substitution (Scenario 3). This seems to be within the possibilities today, since agriculture used only 21.8 M (2003) out of ~16% of the "available" area, or 30. M ha; and pasture land (27.7 M ha) in some regions (South-Southeast) could be partially used for energy crops. Corn would also be in this range, while cassava and sorghum would require much larger areas.

Table 6.4 Areas needed for ethanol production in the proposed Scenarios

	Productivity, t/ha		Conversion, l ethanol / t (8)	Areas needed, 2010 M ha (4)		
	Average today	Expected (1)		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
Sugar Cane	74	65 (2)	83 (3)	0.08	0.21	0.85
Corn	2.8	9.1 (5)	400	0.11	0.32	1.26
Sorghum (grain)	2	2 (6)	400	0.51	1.44	5.73
Cassava		10.6 (10)	170	0.23	0.64	2.54
Wheat	6.0	6.0 (7)	440	0.16	0.44	1.73
Sugar beets	40	85- 60 (9)	86 (12)	0.06-0.09	0.16- 0.11	0.63-0.89

(1) For the conditions (irrigation or rain fed, etc) proposed in the scenarios

(2) For rain fed areas (indicated for expansion to produce ethanol). Except for Tabasco and some areas of Chiapas and Veracruz (sufficient rain) all other areas will need at least two water applications to reach ~70 t cane / ha (Lazcano 2006b)

(3) New distilleries; from the average in Brazil (2002) corrected by the pol% cane.

(4) Scenario 1: 0. 412 M m^3 ethanol / year

Scenario 2: 1.153 M m^3 ethanol / year

Scenario 3: 4.582 M m^3 ethanol / year

(5) With irrigation; Mar de Cortés, Center-North of Sinaloa; as proposed (Lazcano 2006b)

(6) Rain fed; as proposed, in the San Fernando Tamps, Pacifico Norte (Lazcano 2006b)

(7) With irrigation; Valles de Mexicali, del Yaki and B.C. (Lazcano 2006b)

(8) In all cases (when applicable) the use of cellulosic residues to produce ethanol from hydrolysis is not considered in this table, although it is included (with the necessary restrictions) in the study.

(9) With irrigation; as proposed, in the Valle de Mexicali and may be the Valle del Fuerte, Sinaloa (Lazcano 2006b) the value of 85 would be achieved. The second value (~60) is the average 5- year productivity (2000-2004) for the best producers in Europe (France, Germany, Belgium), (F O Lichts 2005).

(10) Rain fed; Bajo Papaloapan, Peninsular

(11) This was the world average in 2000; in many conditions higher values can be obtained (soils, water) (FAO 2002)

(12) See (El Sayed, Matthews and Mortimer 2005)

6.4 Agriculture in Mexico; food production

The organization of the Mexican agriculture has gone through very strong changes in the last ten years, as well shown in both the Reports on Task 1 (Masera and Prehn 2006) and Task 3 (Lazcano 2006a), in this study. Those changes will persist for the next years, and their influence in any agricultural program has to be considered. They are based on economic opening, with market driven orientation; a series of international treaties including the NAFTA, were signed. A landmark for agriculture was the change of the Article 27 of the Mexican Constitution in 1992; it allowed the transformation of the social land property ("ejidos" and the common areas) into private properties. The new commercial orientation with the NAFTA (1994) reduced the protection for the agricultural sectors (mainly for cereal grains and small farmers), though beneficial to the export crops. The NAFTA improved the offer of products in Mexico (quality, lower prices) and concurred (within the context of other actions) to the gradual disappearance of many local products (Lazcano 2006a).

The extension of this change may be seen from the analysis of the situation before: the "ejidos" and communal properties corresponded to ~105 M ha of land (half of the total area of the country). This was changed, and in 2004, already 69% of the area was already certified to be rented or sold (but small action was actually registered in this direction). The land distribution indicates 3.8 M production units (in 2005: estimated 2.6 M "ejidal", 1.2 M private), more than 60% with less than 5 ha. The "ejidos" had support programs for credit, technology and commercialization (INEGI 2001).

The losses in income (and production) in the last years led to the need for the direct financial support from the PROCAMPO to some 3 M workers, and to strong migration. Agriculture provided 6.37 M jobs (diminishing), against 7.7 in industry and 17.5 in services, in 2003. Although all Mexican agriculture is affected by the changes, there are differences among specific areas. Within the NAFTA, for instance, import tariffs to Mexico still hold (till 2008) for some agricultural products, including sugar and corn.

Institutional support for agriculture (financing, with three development banks; insurance, with the Ley del Seguro Agrícola, and the Aseguradora Nacional Agrícola y Ganadera; minimum prices for basic products, the CONASUPO; and storage / distribution systems) was greatly reduced.

The impact of these changes in food production is very clear. From 1994 to 2003 the importation of the main basic grain ad oil seeds (food or feed) grew from 10.7 M t (~27% of the total demand) to 20.6 M t (~40% of total demand), (APPAMEX 2004). There was an increase in production, but the internal demand grew faster.

The Mexican Balance of Payments (Masera and Prehn 2006) shows a small deficit (0.74% of the GDP) in 2005; and a positive result (1.8% of the GDP) in the capital flows. Two important items were the transfer from the residents outside Mexico (2.6% of the GDP); and the net oil and refined products trade (2.0 % of the GDP). For a GDP of US$ 770000. M, the exports corresponded to 27.7% (88.7% to the U. S.).

The estimates for the food products export /import balance (agriculture, fish and meat, processed foods) (INEGI, 2005; quoted in Lazcano 2006a) show US$ 11860. M and 14300.

M, respectively, with a deficit of US$ 2440. M. This corresponds to approximately 10% of the non-oil commercial trade deficit, in 2005. The imports included 16.6 M t of grains (including 6 M t corn, and 3.7 M t wheat) and 0.75 M t meat. *Some estimates for 2015-16 (keeping the trends) indicate 21.8 M t grains to be imported (only corn, wheat and sorghum).* Mexico evidently has the capacity to import the food products needed; however the self-sufficiency in food production (though of course it is not an objective) would need more area than the 21.8 M ha used in 2003 (~5 M ha). Also, the increasing meat imports are "freeing" land (pasture areas) which may be reclaimed latter, should the economic policies change.

6.5 Sugar cane in Mexico

The situation for sugar (and sugar cane) is particularly difficult: the surpluses generated in the last years (and some of the future production) will suffer competition from imported fructose (from corn). After the privatization of the sector in 1990, the contractual relationship between cane growers and mills (with government fixed prices), based on the existing rules, *was not compatible with the economic opening and the external market prices*. Besides, the regulations did not lead to measures to reduce production costs (both in cane production and processing). So in 2000 almost half of the sugar mills were again controlled by the State and the problem persists.

It is well recognized that the sugar cane based industry, with the existing legislation, will have serious difficulties to compete with imported corn fructose. Export prices for sugar are much lower than allowed by the cane price. The small scale cane production makes it difficult to adopt higher productivity technologies; the cane price fixing system do not "integrate" cane producers and mill owners (they do not have common interests). The legal aspects, the relationship between cane producers and industrials, and possibilities for improvement have been discussed by the involved parties (Poy 2005a). Cane producers will stay in the old system, understandably, since it includes health insurance, social security, retirement; and this is not yet universal in the whole agriculture. However the system may soon lead to more unemployment.

Although all sectors involved (government, cane producers, mill owners) clearly understand the issues, a general solution has not evolved yet. The main issue is to reduce production costs; it is agreed that there is a large margin to do this, both in agriculture and in industry, within the regional differences (Poy 2005b). Some of the measures mentioned are:

- Industry: modernizing equipment for higher efficiencies; promoting efficient energy production, including diversification (ethanol and co-generated electricity); better (technical) management
- Cane production: production areas (scale) must be sufficient to allow for higher productivity technologies (some mechanization); strong support in the availability of new varieties; availability of affordable fertilizers.

To reach this point, the institutional problems remain the most difficult. It will be essential to establish a new relationship between the cane producers and the mill owners; they must have common interest in the business. This is not to say that the mill owners must have total land ownership (in Brazil, they have approximately 35%; they rent ~35%, and the remaining is

owned by 40 000. cane suppliers). The CONSECANA system, for instance (São Paulo) intermediates the relationships between ~15000. cane suppliers and ~100 mill owners; reference prices are agreed between parties in the beginning of the season, including corrections for (measured) sugar content and impurities in cane; and corrections for the prices obtained with the selling of products (sugar and ethanol). The pertinent values (cane quality, and product selling prices) are audited by independent organizations; *the government has no participation in the system*.

Among the proposed solutions in Mexico, some are based on the belief that the existing sugar cane system will not be changed; so, the idea to start an ethanol (or ethanol and electricity) program would be developed in "new" cane areas, with new regulations. The cane producers would be partners in the whole production system (including the industry). This is similar to what is being considered for ethanol from corn.

This would of course be simpler; but still the 150000. cane growers today would be left in a difficult position.

The use of corn as a feedstock would be following the same institutional lines (as in the U.S. today). These alternative institutional scenarios and their implications will be discussed in the Reports on Tasks 7 and 8.

6.6 Summary and Conclusions

Sustainable land utilization is a concern for every country. Environmental restrictions (preserved areas) and agriculture (to ensure secure and low cost food supplies) play a central role in the discussion. Although "food security" is seen in different ways for each country in today's more global economy, providing a fair amount of their "basic food products" with their own resources is usually a goal. The interest in Energy crops adds more complexity to the problem; the use of wastes, or degraded lands, has been much analyzed recently.

In Mexico ~ 61% of the territory presents a humidity deficit (severe, for 45%) with arid or semi-arid climate (Lazcano 2006a). Agriculture may use ~16% of the area, or 30. M ha; *in 2003 the cultivated area was 21.8 M ha* (16.7 rain fed, 5 irrigated). Pasture land covers a similar area (27.7 M ha), and in some regions (South-Southeast) it could be partially used for energy crops.

Agricultural productivity increased in Mexico for the last years, but there is room for improvements, leading to more area available. Irrigation (water availability) plays a central role in this issue.

Two crops (sugar cane and sugar beets) would need less than 1 M ha to reach the production for 10% of gasoline substitution; corn would also be in this range, while cassava and sorghum would require much larger areas.

The structure of Mexican agriculture has gone through very strong changes in the last ten years; changes will continue in the next years, and their influence in any agricultural program has to be considered. Institutional support was greatly reduced, together with land ownership

structure. The traditional agriculture is not able to compete with many imported products; from 1994 to 2003 the importation of the main basic grain ad oil seeds (food or feed) grew from 10.7 M t (~27% of the total demand) to 20.6 M t (~40% of total demand), (APPAMEX 2004). The self-sufficiency in food production (though of course it is not an objective) would need more than the 21.8 M ha used in 2003 (~5 M ha, with today's productivities).

The sugar cane based industry, with the existing legislation, can not compete with imported corn fructose; and export prices for sugar are lower than allowed by the cane price. Problems caused by the small scale cane production and a cane price fixing system that do not "integrate" cane producers and mill owners will need adequate solution. Both cane production and cane processing present good opportunities for increasing efficiencies and reducing costs, once the institutional problems are solved. Among the opportunities, diversification to ethanol (and electricity co-generation) may be of great importance to strengthen the whole sugar cane agro-industry.

7. Water Utilization: agriculture and industry

7.1 Water utilization in Agriculture

The largest use of water resources in agro-industries is due to irrigation (except of course in rain fed production). The water used in agricultural production worldwide (2,595 km^3 in 2000) corresponded to an average of 9,436 m^3/ha/year; it is estimated that the average can be reduced to 8,100 m^3/ha/year by 2025 (Macedo 2005). Irrigation competes with all the other water uses worldwide; the average is 70% of all the water used (agriculture, domestic and industrial sectors).

In Mexico the figure is still higher: 84%, with 9000. m^3 water /ha (average); today 1/3 already uses underground water (Lazcano 2006a). It is estimated that irrigation in Mexico (as in many other countries) presents an overall efficiency of only 24 – 34% (Lazcano 2006a); there is need for important inversions in infrastructure. Investments have been made in water reservoirs (to control floods); but there is evidence of severe problems with erosion and soil loss due to deforestation (large areas), limiting the storage capacities and reducing water flows.

The water availability problems lead to limitations in the use of some areas for energy crops; it has been considered in the selection of biomass feedstocks and productivities (Lazcano 2006a); and Chapter 6 in this study. Among the selected crops, sorghum and cassava are the most resistant to drought, requiring less water (see Chapter 11). In the world most corn and wheat are produced without irrigation; but the large production makes them some of the largest water consumers. Sugar cane may use no irrigation (as in Brazil) or some irrigated area (in Mexico: 39%).

For each case, as in all other agricultural production, the use of water for irrigation must be authorized by the SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). It is expected that irrigated areas would be primarily destined to food production. It is also expected that (as in many other regions in the world) more efficient use of water for irrigation

will be achieved, with new technologies. They have been studied for different situations, like the new areas for sugar cane in Brazil (Souza 2005b).

7.2 Water utilization in the Industrial production

Some conversion processes at the industry may require significant use of water. This is the case for sugar beets and cassava, with the washing at the mill. For sugar beets, the pre-processing washing at the industry uses up to 10 – 30% of the beets weight (in water) (Clay 2004).

In sugar cane processing, most of the washing has been eliminated with mechanical harvesting (Brazil) and also for manual harvesting (Brazil, Mexico). Improvements have been made with water recycling; in Brazil, the average water withdrawal from the sources (rivers, lakes, underground water) was 5.6 m^3 / t cane in 1990 (with consumption of 1.8, and releasing 3.8 m^3 / t cane of treated water). After a sucessful program to reduce the water withdrawal (increasing recycle) the value in 2005 was 1.8 m^3 / t cane (see Annex 3).

All water not consumed in the process must be treated before disposition in the water ways, and it is expected that regulations will be fully implemented in a biomass to energy program. Excluding stillage (discussed in detail in Chapter 9) the main effluents in sugar cane processing and their treatment systems are (Elia Neto 2005):

- Sugar-cane washing water: 180-500mg/ℓ of BOD_5 and high concentration of solids. Treated with settling and stabilization ponds for the case of release to water bodies. For reuse, the treatment consists of settling and pH correction of 9-10. Cane washing is being eliminated; in Mexico, only 10% of the mills wash the sugar cane (information from Ing. I. Lazcano Martinez, 2006).
- Multijet and barometric condenser waters: low pollutant potential (10-40 mg/BOD_5) and high temperature (~50ºC). Treatment with sprinkler tanks or cooling towers, with recirculation or release.
- Fermentation Vats and ethanol condenser cooling waters: high temperature (~50ºC). Treatment with cooling towers or sprinkler tanks for return or release.

The water demand for corn processing to ethanol, using the dry milling process, was estimated at 1.5 to 5.5 m^3 water / m^3 ethanol (BBI 2005) depending on make-up water quality and plant design. It is expected that similar values apply to wheat and grain sorghum.

Besides addressing the specific problems with water use due to irrigation (more efficient technologies) and industrial utilization (technology and adequate water prices) there is room for improvement in the protection of waterways and water sources. The substitution of the riparian vegetation, to act as a buffer between the agricultural activity and the waterways, is an important practice. Riverside woods are essential plant systems for environmental equilibrium. Their functions include controlling erosion on banks of water streams, thereby and quality of the waters, filtering any possible waste resulting from the chemicals used as pesticides and fertilizers, and helping to preserve biodiversity and the genetic inheritance of the flora and fauna. The environmental legislation usually establishes limits forbidding the use of areas

along the rivers and springs; the Brazilian legislation, for instance, establishes the limits (riverside woods are Permanent Preservation Areas) but does determine that riverside woods should be recovered if previously degraded (Ricci Jr 2005b). In São Paulo, 2005, the riverside woods area (Permanent Preservation) corresponded, in the sugar cane area, to 8.1% of the total area; nearly half were covered with natural or planted forests (Ricci Jr 2005b).

In Mexico, the residual water discharge in waterways is regulated by the Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (Jan 06, 1997). For the efficient (and safe) utilization of stillage in ferti-irrigation, special legislation is needed, as seen in Chapter 9.

7.3 Summary and Conclusions

Water use in irrigation is needed in many conditions; irrigation takes 70% of the water uses in the world. Mexico has reached 85% (1/3 with underground water; 9000 m^3 / ha, average). It is expected that regulations for the use of water will be more limiting in the future. Energy crops will naturally be required to use less irrigation whenever possible; technologies for efficient use of water are expected to be considered.

Programs to recover the riparian vegetation in existing agricultural areas, and legal protection for all expansion in new areas, are recommended to protect the waterways and reduce risks of contamination, and must be contemplated in all agricultural developments.

All processes to produce ethanol from biomass today may be improved to use less water withdrawal from the sources; legal measures (which can be applied to all industrial systems) may include adequate payment for water withdrawal and consumption, and strict specifications for discharged water quality.

8. Impacts in water supply: water contamination with the use of ethanol - gasoline and ETBE – gasoline blends

8.1 Introduction

MTBE, ETBE and Ethanol are oxygenates which are added to gasoline in order to increase the octane number and to decrease the emission of air pollutants resulting from combustion of the fuels. The use of oxygenates in gasoline leads to an improvement of the air quality. However, the experience with MTBE showed that the risk of groundwater and surface water contamination may be broadly increased by the use of these substances. In 1998 the EPA released a report about the critical information and research needs for oxygenates in water: the sources, transport, transformation, occurrence, exposure, aquatic toxicity, health effects, release prevention, and contaminant removal (EPA 1998).

MTBE was banned in many regions in the following years, essentially for the problems found with water contamination. Research in the area has clarified many points, but still insufficient information exists for ETBE (mainly due to its relatively low utilization). Leaking underground storage tanks (UST) are believed to be the primary source of localized releases of MTBE in high concentrations; but it is not clear whether the greater impact from MTBE (or other oxygenates) to ground water is from diffuse or point sources. Gasoline spills, and permeation through plastic membranes / tubes, have been evaluated in the context.

Some important factors (related to the oxygenate) are considered when evaluating risks. Among them are:

The solubility of the oxygenate in water

The oxygenate rate of degradation in the environment

The anticipated human exposures

The toxicity to aquatic life, and the effects to human health.

In the next paragraphs we consider the relevant facts related to the risks with ethanol – gasoline blends, and the information available related to gasoline – ETBE blends.

8.2 Ethanol – Gasoline blends

8.2.1 Effects of ethanol leakage / spillage

Ethanol – gasoline blends have been analyzed for the risks posed by eventual groundwater contamination by leakages and spills. Summarizing (Armstrong 1999):

- ethanol is readily degraded in the environment
- anticipated human exposures to ethanol are very low
- voluminous information on metabolism of ethanol by humans, and on the health effects of ingested ethanol, suggests that environmental exposures to ethanol will have no adverse health impact.

Ethanol degrades rapidly (2 to 4 hours) in subsurface environment; it is totally miscible in water, and adsorption to aquifer materials is not expected. One possibility is being investigated (no facts yet): the fast bio-degradation of ethanol in water depletes oxygen at the leading edge of a groundwater plume, extending the BTEX (benzene, toluene, ethyl benzene, xylenes) plume and delaying BTEX degradation.

Water treatment is not needed for ethanol leakages / spills, due to its natural degradation in water.

Ethanol is likely to have small adverse impacts in small gasoline spills; impacts of large spills are difficult to generalize, due to uncertainties on the effects of ethanol in BTEX plume lengths. Under acute exposure conditions, ethanol is 3.7 times less toxic to aquatic life than MTBE (NEIWPCC 2001).

Given current information ethanol appears to be one of the least toxic of the major components of gasoline when considering common toxicological endpoints, such as carcinogenicity and central nervous system depression. Preliminary analyses indicate that direct exposure to fuel ethanol in the air and in contaminated drinking water is not expected to pose public health risks. Low level ethanol contamination of groundwater (< 400 µg/l) is not expected to substantially alter blood alcohol concentrations or produce a significant health risk (NEIWPCC 2001).

The potential for other adverse impacts, including developmental effects associated with large scale exposure to low levels of ethanol is uncertain (NEIWPCC 2001).

8.2.2 Ethanol leakage / spillage prevention

The large scale use of ethanol as automotive fuel in Brazil and in the U.S. has led to the development of specific standards for equipment, systems and procedures to assure the safety against spillage and fire hazards. In particular, the Brazilian distribution network is spread through the whole country, with the corresponding blending centers, transportation and storage systems and service stations; all fuel service stations in Brazil have an ethanol pump, and also deliver gasoline with 20-25% ethanol.

The storage systems at the distilleries are also built according to specific legislation. Due to seasonal production of ethanol, the distilleries in Brazil have storage systems (arrangements of storage tanks, interconnected, with fire prevention and protection systems, within contention barriers) with capacity to hold the production of the year.

After 30 years of experience, it is agreed that these systems are adequate to provide protection at least with the same quality as that for the conventional fuels (gasoline, diesel, and fuel oil). Technical norms, operational procedures, engineering and technical criteria are presently available in the production units and ethanol transport logistics companies (Guedes, Gomes and Lepsch 2005). Blend preparation and distribution in the whole country is a routine procedure, with all the safety requirements (and results) of the conventional fuel industry (Cotrim 2005). In addition, ethanol characteristics (total miscibility in water, non toxic in low

concentrations) determine that, should an accident happen, the effects on environment (water ways, and soil) are small and disappear very rapidly. This is quite different with oil or oil derived fuels (gasoline, diesel).

The standards for the manufacture of storage tanks, storage tank systems for ethanol and the handling of ethanol in storage and transportation in Brazil are (essentially) derived from the API standards (for oil, and oil derived fuels) with adequate adaptations. The basic standards are listed in Annex 3 (the Brazilian specific standards, NBR, and the applicable API – NFPA standards).

8.3 ETBE – Gasoline blends

The long term use of other (non MTBE) ether- based oxygenates, such as ETBE and TAME, may be limited by the same water quality concerns that have prompted calls for a phase-out of MTBE. The ethers are soluble in water and resistant to biodegradation; consequently, ether contamination of soils and surface/ground water environments is difficult to remediate. There is little scientific information or field data on the behavior of ETBE or TAME, when leaked or spilled; but they are expected to behave much like MTBE due to their similar chemical composition. Recent findings show that, although ETBE has some advantages compared to MTBE due to the physicochemical properties, the risk of groundwater contamination resulting from leaking underground storage tanks is not substantially smaller (Koene and Puttmann 2005).

8.4 Summary and Conclusions

The experience with MTBE showed that the risk of groundwater and surface water contamination may be increased by the use of the some oxygenates. Research has been conducted in the last ten years; leaking underground storage tanks (UST) are believed to be the primary source of localized releases; also gasoline spills, and permeation through plastic membranes / tubes, have been evaluated in the context. Oxygenates are considered according to their solubility in water; the rate of degradation in the environment; anticipated human exposures; the toxicity to aquatic life, and the effects to human health.

Ethanol – gasoline blends have been found to be relatively harmless: ethanol is readily degraded in the environment, human exposures are very low, and the expected exposures would have no adverse health impact (Armstrong 1999), (NEIWPCC 2001). However it is possible that the fast bio-degradation of ethanol in water depletes oxygen at the leading edge of a groundwater plume, extending the BTEX plume. Also, the large scale use of fuel ethanol in Brazil and in the U.S. led to the development of specific standards for equipment, systems and procedures to assure the safety against spillage and fire hazards.

There is little information on the behavior of ETBE or TAME, when leaked or spilled; they are expected to behave much like MTBE due to their similar chemical composition. Ether contamination of soils and surface/ground water is difficult to remediate. ETBE has some advantages compared to MTBE due to the physicochemical properties, but the risk of

groundwater contamination resulting from leaking underground storage tanks is not substantially smaller (Koene and Puttmann 2005).

9. Stillage utilization

9.1 Introduction

Stillage is the residue from the distillation of the fermented sugarcane juice and molasses. It will be present also in the distillation of fermented sweet sorghum juice, and cassava or grains sugars from starch. It is generated primarily as the bottom product of the stripping column, concentrating all the wine components lighter than ethanol; it is produced at 85 - 95 C, with pH in the range of 3.5 – 4.5. Its characteristics depend on the must composition (juice and molasses, cassava, etc), and also on the ethanol processing technology, distillery efficiency, and other. For each liter of alcohol, 10 to 15 liters of stillage are produced, depending on the raw material characteristics and processing. With sugar cane, it has a high organic matter and potassium content, and relatively poor nitrogen, calcium, phosphor and magnesium contents; the composition depends on the origin (the must), as shown in (Table 9.1), (Ferreira and Monteiro 1987).

In Mexico stillage disposition is controlled by SERMANAT . In Brazil stillage used to be released to water streams 30 years ago (at that time the volumes were much lower than today); recycling to the fields started in 1978. The application rates (m^3/ha) were gradually decreased, and new technologies were introduced with a view to expanding the ferti-irrigation area (for improved utilization of its potential) and eliminating underground water contamination risks. The current practice is full recycling, with great benefits.

Stillage became a valuable input, substituting for part of the fertilizer needs, instead of a polluting waste stream. Since its application as a fertilizer substitute depends in part in local conditions (topography, soil type and characteristics, depth of the water table, among others) in some places it may be necessary (or convenient) to process stillage either to reduce volumes to allow for cheaper distribution, or to allow its organic matter to be burned as fuel, or yet to produce bio-gas for energy production and waste treatment.

Table 9.1 Chemical composition of stillage from different kinds of must, from sugar cane (Ferreira and Monteiro 1987)

Elements	Must		
	Molasses	Mixed	Juice
N kg/ m^3 vinasse	0.75 - 0.79	0.33 - 0.48	0.26 - 0.35
P_2O_5 kg/ m^3 vinasse	0.10 - 0.35	0.09 - 0.61	0.09 - 0.50
K_2O kg/ m^3 vinasse	3.50 - 7.60	2.10 - 3.40	1.01 - 2.00
CaO kg/ m^3 vinasse	1.80 - 2.40	0.57 - 1.46	0.13 - 0.76
MgO kg/ m^3 vinasse	0.84 - 1.40	0.33 - 0.58	0.21 - 0.41
SO_4 kg/ m^3 vinasse	1.50	1.60	2.03
*OM kg/ m^3 vinasse	37 - 57	19 - 45	15 - 35
Mn mg/dm^3	6 - 11	5 - 6	5 - 10
Fe mg/dm^3	52 - 120	47 - 130	45 - 110
Cu mg/dm^3	3 - 9	2 - 57	1 - 18
Zn mg/dm^3	3 - 4	3 - 50	2 - 3
pH	4.0 - 4.5	3.5 - 4.5	3.5 - 4.0

The production of ethanol from sugar cane in Mexico may happen with must from exhausted molasses (distilleries annexed to the existing sugar mills), cane juice (new, autonomous distilleries) or mixed (juice and some molasses, as in most Brazilian units). It is to be expected that for similar operating conditions (to the Brazilian) in an eventual large scale ethanol program in the Mexican sugar cane sector, stillage will have approximately the same composition. The Potassium concentrations are particularly important, since they relate directly to the fertilizer value of stillage.

For the most general case (mixed) the stillage characteristics in Brazil today are shown in (Table 9.2).

Table 9.2 Analytical characterization of stillage, sugar cane, Brazil (Elias Neto and Nakahodo 1995)

Stillage characterization (1)	**Unit**	**Minimum**	**Mean**	**Maximum**	**Standard deviation**
pH	---	3.50	4.15	4.90	0.32
Temperature	°C	65	89	111	9.78
(BOD_5)	mg/l	6680	16950	75330	9953.
(COD)	mg/l	9200	28450	97400	13943.
Total Solids (TS)	mg/l	10780	25155	38680	6792.
Total Suspended Solids (TSS)	mg/l	260	3967	9500	1940.
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/l	1509	18420	33680	6488.
Nitrogen	mg/l	90	357	885	177.
Total Phosphorous	mg/l	18	60	188	36.
Total Potassium	mg/l	814	2035	3852	804.
Calcium	mg/l	71	515	1096	213.
Magnesium	mg/l	97	226	456	71.
Sodium	mg/l	8	52	220	41.
Chloride	mg/l	480	1219	2300	417.
Sulphate	mg/l	790	1538	2800	514.
Sulphite	mg/l	5	36	153	32.

(1) Straight stillage, (no flegmass mixture); mean stillage flow rate 10.85 l/l ethanol, standard deviation of 2.40. Note the Potassium content.

Values from the cassava based ethanol production in Brazil (in the late 70's) are shown in (Table 9.3).

Table 9.3 Stillage from cassava, Brazil (Trindade 1985)

Stillage characterization	Unit	Average values
pH	---	5.0
(BOD_5)	mg/l	18900.
Total Solids (TS)	mg/l	24000.
Nitrogen, as N	mg/l	400.
Phosphorous, as P2O5	mg/l	200.
Potassium, as K2O	mg/l	1100.
Calcium, as CaO	mg/l	100.
Magnesium, as MgO	mg/l	100.

9.2 Stillage treatment and disposition

Although ferti-irrigation is the most used process for stillage utilization (the only used in Brazil, today) for sugar cane based ethanol, its use needs careful evaluation of many local conditions (type of soil, underground water depth and stillage characteristics, among other, determine the permitted rates of application). In the ethanol from corn production the residues are concentrated to produce DDGS (animal feed; in the dry milling process).

Different processes have been developed and implemented, either to lower ferti-irrigation costs or as an alternative to it, when special conditions prevail. Among them, we note:

- Optimizing fermentation/distillation to reduce the volume of stillage (thus reducing ferti-irrigation costs): it means improving fermentation conditions and control to achieve a final ethanol concentration in wine in the range of 9.5 to 11.5 ^{o} GL; and substituting re-boilers for the direct contact heaters, in the distillation /rectifying columns. The re-cycling of stillage in the fermentation process, after some degree of juice concentration, has been tried in Brazil; it was abandoned (for both, continuous and fed-batch systems) due mainly to yeast inhibition and difficulties in centrifugation. The Biostil process was one of the variants tested.
- Stillage concentration with membranes: reverse osmosis has been tested with success, leading to a concentration of salts and most of the organic matter. The very small flow rates turn the process economically not acceptable; but it holds some promise for the future.
- Thermal concentration (multiple effect evaporators, using low pressure steam), as practiced in the corn to ethanol industry, has been developed and systems (like Vogelbusch and Speichim) are available. Difficulties arise from salt deposition in the heat exchangers, mainly for high Ca and Mg ions in the stillage and H_2SO_4 utilization in the fermentation process. Stillage from juice, with good fermentation control, can avoid those problems. Concentration was aimed at reducing ferti-irrigation costs, or even extended to produce material to be burned in the boilers.

- Biodigestion was tested (to reduce the organic matter) and implemented in some annexed distilleries (ethanol from sugar cane, Brazil). It is not used in Brazil today, although some advantages are, besides decreasing the organic matter, increasing the pH and eliminating the sulphates. Main problems were the inhibition (when using stillage from molasses, or mixed) and the low reaction rates, leading to expensive systems.

New technologies are always being proposed to treat stillage; in many cases they are combinations of the above, aiming at reducing ferti-irrigation costs. The strong advantages of ferti-irrigation in improving cane productivity lead to advances in this area, extending the use and avoiding the problems (salinization, underground water contamination, etc) with proper application rates and area restrictions.

The main technologies commercially available (ferti-irrigation, thermal concentration, biodigestion) are presented below, in the context of possible applications for ethanol production in Mexico.

9.2.1 The ferti-irrigation process (Souza 2005)

One important feature of sugar-cane crops in Brazil is the full recycling of wastes to the field. The rise in ethanol production required the vinasse to be taken care of, and the best solution found was to recycle it for the crop. The benefits provided by this ferti-irrigation have become evident; an optimization of potassium utilization was sought and yielded very good results. The infrastructure that was created has enabled the development into using also the water from the industrial process and the ashes from boilers.

Stillage recycling reduces the need for external mineral fertilizers, and provides an adequate way for water quality protection. The evolution of the legislation has been very important and appropriate in the leading producing areas, as São Paulo, to prevent adverse effects on soil salinity or underground water contamination. Today all distilleries in Brazil use ferti-irrigation with stillage (and no biodigestion or stillage concentration is used in any of them). However, as indicated by the legislation, each area (within a sugar cane plantation) has to be evaluated for the stillage application rates and this depends on some other factors. This apparent complication is by far compensated by the advantages in productivity gains.

The rate at which the areas are covered by ferti-irrigation at the mills is highly variable, depending on the topography and distribution of the mill's land. Some mills apply stillage to more than 70 percent of their crop areas, whereas others do it at much lower fractions. The mills' ferti-irrigation areas have increased from crop to crop seeking a greater agricultural productivity and decreased use of chemical fertilizers. This has been leading to smaller application rates (m^3/ha); environmental legislation today also leads to this trend.

The systems currently used for ferti-irrigation are standard tanker trucks and application by sprinkling. For sprinkling, the direct-mounting system (pump and engine set and cannon sprinkler on a wheelbase) and the self-propelled, winding-reel system (currently the most used; fed by channels or trucks) are used. The later uses less manual labor than direct

mounting, but is fuel consumption is higher; the current use in São Paulo is shown in (Table 9.4).

Table 9.4 Stillage application systems in the State of São Paulo (Penatti 1999)

Application Method	Share (%)
Standard Tanker Truck	6
Sprinkling (channel + direct mounting)	10
Sprinkling (channel + reel)	53
Sprinkling (truck + reel)	31

Stillage application procedures have included studies of Center Pivot (wheeled type) and subsurface dripping systems; the first is still too expensive (in Brazil) and the drip irrigation would have to be (independently, not for the fertilizer effect) feasible.

9.2.1.1 Ferti-irrigation advantages and limitations

In the conditions of sugar cane production in Brazil, the use of stillage on soil provides several benefits in terms of the physical, chemical and biological properties of the soil: rise in pH, increased Cation Exchange Capacity, availability of some nutrients, improved soil structure, increased water retention, and development of the soil's micro flora and micro fauna. In addition to providing water and nutrients (mainly K and P), it also recovers the soil fertility, to some depth. Many experiments demonstrate the increase in agricultural productivity (sugar-cane t/ha), whether or not associated with the savings attained by buying smaller amounts of mineral fertilizers. Sulphuric acidity is undesirable.

Several works have shown the effects of stillage on the soil and environment over years of application; for example, increase in the potassium-content of a sandy dark red Latosol. Salinization evaluations of three soil types (Alluvial, 51% clay; Red Yellow Podzolic, 38% clay; and Hydromorphic, 5.5% clay) indicate that there was no saline index for doses lower than 400 m^3/ha, *and that applications should be made based on the salt contents and soil characteristics* (Camargo et al. 1987). Heavy elements in stillage are present at a very low level. The mineral macro- and micro-elements present at higher concentrations in leached elements would be K^+, Ca^{2+}, SO_4^{2-} and Cl^-, respectively. Risk assessments of the metals present in the vinasse conducted over a period of five years concluded that the amounts of NO^-_3, NH^+_4 and soluble phosphor where not significantly changed, and neither were the contents of soluble zinc, copper, iron and manganese; only (SO^{2-}_4) showed leaching of up to 80 cm.

Many studies with variable stillage application rates over periods of up to 15 years led to a consensus that doses in excess of 400 m^3/ha are harmful to sugar-cane (decrease in quality and productivity).

In conclusion, we may say that today, respecting the characteristics of the soils to which it is applied, the location of water springs and the volumes defined as suitable to each situation,

stillage does not have any negative effects. The results obtained from tests so far indicate that there are no damaging impacts on the soil at rates lower than 300 m^3/ha, while higher doses may damage the sugar-cane or, in specific cases (sandy or shallow soils), contaminate underground waters.

The experience over the last 30 years in Brazil may be summarized in the present legislation for the use of stillage in ferti-irrigation in the State of São Paulo. The application of similar regulation in Mexico would have to be preceded by analyses of the local parameters (mainly soil, underground water depth and stillage characteristics) but the legislation is intended for use in Brazil in areas with large differences. The Technical Standard (Technical Standard P4.231; Vinasse: Criteria and procedures for application in agricultural soils, 2005; Secretaria do Meio Ambiente, S Paulo, 2005) establish the procedures for a safe way to apply stillage by specifying permitted places, application rates, protection of master channels and storage, etc., and considered the results of years of studies seeking safe processes in respect of the various aspects of environmental protection. For its application, all the areas of a sugar cane production unit are mapped according to the type of soil, depth of the water table, proximity to urban areas, rivers and springs, environmental protection areas, wells, roads; the declivity, if higher than 15% (protection required). The tanks and channels must be impermeable and in some cases systems for monitoring the underground water quality must be included. A Plan for Stillage Application must be submitted yearly (for approval and control by the Secretaria do Meio Ambiente). Stillage allowed application rates (for each area) is determined by soil depth and fertility, the Potassium content in stillage and its average extraction by the culture, according to an established equation. Maximum K concentration in soil must never exceed 5% of the Cationic Exchange Capacity.

Cane producers are very interested in improving the efficiency of stillage utilization, given the economic return. The technologies are expected to keep on evolving in this respect, involving the interaction between stillage and the waste trash left in the field.

Although relatively well established for sugar cane, the parameters for efficient stillage use in ferti-irrigation with sweet sorghum and cassava, for instance, are not known to the same extent.

9.2.2 Stillage Concentration

Stillage concentration has been considered in some different concepts. Two of them (evaporation and reverse osmosis) went through many studies. Evaporation became commercial and some installations in the early 1970's (small distilleries) went to high concentrations to allow for burning the stillage as fuel. The advances in ferti-irrigation, as well as the process modifications to provide some concentration and reduce ferti-irrigation costs, led to consider specific concentration systems (using low pressure steam, multiple effect evaporators) to further reduce transportation costs, but not reaching a "solid" residue. Reverse osmosis did not actually become commercial, for its high cost. None of those schemes is used in Brazil, today.

A modern concentration system, as an example, aiming at concentrating stillage from exhausted molasses (to 35% dry mass) is described in Annex 4 with the capacities, performance and costs.

Systems for concentration at 60 Brix were commercial for distilleries in Thailand since the 1980's (example, Bangykhan II distillery, sugarcane molasses). Concentrated stillage was considered to be used as a fertilizer or fuel (with potassium recovery). As a fertilizer, it was difficult to compete with the advances in direct ferti-irrigation (it may find uses in specific situations due to topography, land distribution, severe local environmental restrictions). The use as fuel (at 60 Brix, with 2000 kcal/kg) requires boilers specifically designed to avoid deposition of material on the internal surfaces; potassium must be recovered. The energy requirements for concentrating the stillage could be partially supplied by the steam generated. The analyses of concentration / incinerator systems for stillage in the mid 1980's indicated very high capital costs, and today they are not used in large scale ethanol production.

A different situation is found in the corn to ethanol dry milling process; the effluent (actually, not a stillage but a valuable high protein feed component, the dried distillers grain, DDGS) is concentrated to be transported. The cost of drying DDGS using external (fossil) fuel is becoming too high; and also is the cost of fuel used to produce ethanol from corn. As the ethanol from corn production increases in the U.S., the value of DDGS as a feed component has been depressed rapidly (DDGS price differential, US$/t over the corn price, has fallen from ~30. in 1994-95 to nearly zero in 2005-06) (LMC 2006). The option of burning the DDGS as fuel for the distillery is starting to look attractive.

9.2.3 Anaerobic Digestion of Stillage

9.2.3.1 Anaerobic digestion processes today

Anaerobic digestion (AD) is used to treat the organic fraction of MSW and other organic wastes; the methane produced is sufficient to supply the process energy needs, and (as with MSW combustion) the surplus energy is a by product.

The processes are well known: enzymes and microbes ferment the organic material yielding mostly methane and CO2 (also small amounts of H_2S, NH_3, and other). Natural bacteria operate from 10C to 100C, in moistures from 50% to 99%. In practical systems, the mesophilic range is 25 - 35C, while the termophilic range is 45 – 60C; rates of conversion with the higher temperatures are many times larger than in the lower temperature range. Gas composition depends on the substrate; methane is 50-80% for aqueous streams, and 45-55% for landfills (Overend 2001). Effluent is recycled as compost / nutrients for agriculture.

A key parameter to evaluate the system is the load that the digestor can handle for a given performance (% reduction of COD content), expressed as kg COD / (m^3 reactor volume).

Feedstocks for AD are sewage sludge (large utilization), MSW (with source separation fractions) and landfill, industrial waste waters (including distilleries and breweries), agricultural wastes and animal by-products (categories 2 and 3) (IEA 2005).

The simplest processes are at farm scale production: millions have been used worldwide, mostly in Asia, using animal wastes and some crop residues to supply energy for cooking and lighting, in the family scale. They evolved to larger units, in stirred tanks with retention times of 15-50 days. They use a rubber membrane top (with gas storage) or concrete fixed covers; more than 2000 operate in Europe, to supply CHP systems. Capacities have increased (330 kW, Germany, 2002) (IEA 2005).

A process for Dry Continuous Digestion of source separated waste with 20-40% dry matter, plug or mixed flow, using thermophilic bacteria (55-57C) shows retention times of 15-21 days, and only 22% of the biogas energy is needed for plant operation.

In the last years large scale centralized co-digestion plants were built in Denmark, for groups of farmers and industry. They use different feedstock (animal and agricultural wastes, industrial wastes, MSW). Their use improved the economics for waste water treatment (with over capacity) and increased the yields for manure digesters. Solids concentration is 8 – 15%, and digester volumes are 4000 – 6000 m^3.

Biogas has "low productivity" (1 – 5 m^3 CH_4 / (m^3 reactor.day), leading to relatively large investment. Direct benefits are the energy and the sales of co-products; but the real value lies in the environmental benefits in waste treatment (less odor; protection of water resources; pathogen control, and lower GHG emissions).

The existing installations of biodigestors worldwide, with large concentration in applications for treatment of fermentation residues (starch, sucrose) show that after 1998 there is a strong shift from the UASB (Up flow Anaerobic Sludge Bed) technologies to the IC (Internal Circulation) systems (Paques 2005). The UASB reactors (5-15 kg COD / m3 reactor / day) were already an improvement over the "conventional" digestors (2-4 kg COD / m3 reactor / day).

9.2.3.2 Anaerobic Digestion systems: experience with stillage

Concerning stillage from ethanol production, bio-digestion has been employed in some places; in most cases it was done in relatively small ethanol plants, or in pilot plant experiments, dealing with the stillage from cane molasses derived ethanol, or cassava (Trindade 1985). Most of the information available, very useful for the process development, is difficult to use for estimating costs today. The development of larger plants, dealing with cane juice or juice and B molasses, led to modern concepts (like the Dutch Paques VB, licensed to other manufacturers). Typically, they are IC (Internal Circulation) anaerobic reactors (vertical cylinders, up to 24 m high); capacity is a function of stillage characteristics and distillation process for each distillery. More than 200 reactors of this type have been installed worldwide (not only for stillage), and close to 60 are operating in Latin America (from one manufacturer) for different fermentations and other residues.

In conditions where the effluent has to be discarded to rivers, with strong environmental restrictions, a combined treatment (anaerobic and aerobic) may be recommended.

Note that the hypotheses used in this study consider that new plants in Mexico could use for fermentation either exhausted molasses, or cane juice or many combinations of B molasses and juice. In Brazil today exhausted molasses are very difficult to find. Manufacturers today indicate as adequate values close to 30 000. mg/l (COD) and 16 500. mg/l (BOD), as well as low K, Ca and Sulphates concentrations, to allow for higher efficiencies and process stability. Considering the most general situation, a distillery working with cane juice and some complementation with B molasses (that is to say, an extension of the existing sugar mills in Mexico) would reach those values (with ~15 l stillage / l ethanol); no indirect heating (re-boilers) should be used in the distillation column.

Plants with exhausted molasses and re-boilers are the most common type for the small distilleries in Mexico; stillage would probably present values of 70 000. to 100000 mg/l (COD) and 30 000 to 40 000. mg/l (BOD); also concentrations of 3 000. mg/l (K); 1 500. mg/l (Ca); and 2 000. mg/l (SO_4). The use of biodigestion with the current technology would require diluting the stillage to reach COD from 25 000. to 30 000. mg/l. It is important to note the difference in plant capacity and, consequently, cost: a bio-digestor to treat stillage for a distillery with capacity for 200 000. l/day ethanol, based on the fermentation of cane juice and some complementation with B molasses, would be suited for a much lower plant (only 80 000. l ethanol / day) based on exhausted molasses fermentation.

A typical example of a modern installation for stillage treatment (for discharge in rivers, with adequate environmental restrictions) is shown in Annex 5.

9.2.4 Aerobic fermentation of stillage

Aerobic fermentation of the organic matter in stillage has been studied in many situations, to produce single cell protein; as with many other substrates, this option was found to be economically unfeasible. For cassava, for instance, the problem was the need for costly nutrients (Silva. and Magalhães 1984). In general, the economics of large scale soybean production has been a strong obstacle to the implementation of this technology.

9.3 Summary and Conclusions

Stillage treatment is required to avoid the discharge of high organic matter loads in rivers. Although this initial concept is still true, the possibility of using stillage to profit with ferti-irrigation has been demonstrated with the evolution in the last 25 years: the nutrients (mainly the Potassium) and water in stillage can pay for all application costs with increased productivity.

Ferti-irrigation must be the first priority in stillage use, whenever possible; limitations may be imposed on the application rates due to soil characteristics, water level depth, topography, variety and local environmental restrictions. However, for a large diversity of parameters (as found in Brazil) it remains the best option. It requires a better design and operation planning / control, but this will be needed for all the agricultural procedures in the near future, approaching a “precision agriculture” for the energy crops.

In Mexico, the proposed scenarios (from partial MTBE substitution to implementation of 10% of pure ethanol blending in all gasoline) may be achieved with two different solutions, in the case of using sugar cane. In the low ethanol use scenario (partial MTBE substitution) a large portion of the ethanol can be produced at the existing sugar mills, using a mix of cane juice and molasses (in fact, working without exhausting molasses). In the high ethanol use scenario, autonomous distilleries would be built; in this case it is possible that the organization of the agricultural production would be different than today (land ownership, larger production areas per supplier, new institutional relations between cane suppliers and mill owners). The implications for the possibility of ferti-irrigation with stillage are clear: even though in both cases the distillery suppliers would be close to the distillery (and technically the system could benefit from the ferti-irrigation) in the second case it could be much simpler to implement the system.

Some level of concentration may be economically feasible, to improve the distribution in ferti-irrigation in some areas. This is also dependent on the substrate; concentration requires energy; sugar cane still has excess of cheap energy in bagasse, but cassava or grains have to use external energy, with increasing costs and increasing GHG emissions. In the near future, bagasse demand for power (or fuels) will turn its opportunity cost higher. This will have to be considered in every specific situation. The process developments to reduce stillage volumes (without further concentration) must be implemented, when possible.

Concentration to high values (~60 Brix) to allow for burning has to face the same problems mentioned above. It is a process intensive in capital and energy, being difficult to justify, except in very special situations.

Anaerobic Digestion (with or without full treatment, including an aerobic complementation) is an option to be reserved for situations where full ferti-irrigation is not possible (it will be more expensive, with today's technologies). However, it may be considered if situations as in Scenario 1 lead to significant production annexed to the sugar mill, and the ferti-irrigation involving too many landowners becomes (legally) difficult. It must be remembered that usually the anaerobic digestion alone is not sufficient to comply with the local requirements set by the environmental legislation; and an aerobic complementation may be mandatory.

10. Production sustainability: the supply of adequate biomass (genetic) material and production technology

10.1 The agricultural production base: varieties

The internal sustainability of an agricultural production system requires the ability to respond to pests and diseases of the plant and to periodical climate changes, among other things; these interferences must not harm the production system so seriously as to make it unfeasible. The problems due to periodical climate changes (other than those occurring because of global warming, for which we have no control today) in Mexico may happen usually with variations in rain fall (and extremes may be, apparently, very much dependent in the global warming in the near future).

However, the ability to respond to diseases and pests must be strengthened, especially if the decision is taken to increase substantially production areas. Today it is very difficult (yet desirable) to maintain a strict, efficient phytosanitary barrier system in most countries; the solution is (in addition to quarantines and barriers) an efficient disease and pest-resistant variety selection and development system and a proper use of a large number of varieties (Burnquist and Landell 2005). For sugar cane, for example, in Brazil the recommendation today is that no variety should be used in more than 15% of each mill area ((see Annex 6). Beyond the protection against diseases and pests, a continuous supply of new varieties may be essential to keep productivity (and increase it) as new areas and cultivation practices are introduced.

The needs are very different among the biomass feedstocks selected in this study; the most important grain production is based on large scale multi-national genetic improvement facilities (corn, wheat) with agronomic testing stations worldwide. Some crops will need more local testing and selection (sugar beets, sorghum). Other, like sugar cane and cassava, although they could use exogenous varieties, would no doubt benefit much more from local selection programs. Today the sugar cane selection programs in many countries are very well connected with the use of information (spread of diseases, quarantines, exchange of cane varieties for the breeding programs; and even information on local developments in transgenic sugar cane varieties, still not commercial). Cassava and possibly sorghum will need stronger local development; but no doubt the situation for sugar cane (since it is such an important culture already, in Mexico) deserves attention.

10.1.1 Sugar cane varieties development in Mexico

Mexico had an important sugar cane variety development program, and it allowed the production today to use Mexican varieties in ~ 50% of its area (mostly Mex 69-290 and Mex 68-P23). One foreign variety (CP 72-2086) is used in 17% of the area (Lazcano 2006b). Sugar cane productivity has increased even recently (11.23%, from 1996 to 2005) as well as sucrose in cane (0.21%, same period). However there has been a strong reduction in the activities related to cane variety development; the Centro Hibridacion Capachula was substantially reduced, and the IMPA was closed in 1992 (information by I. Lazcano Martinez, 2006). The effects could be felt in the next years, especially if the production expands to new areas.

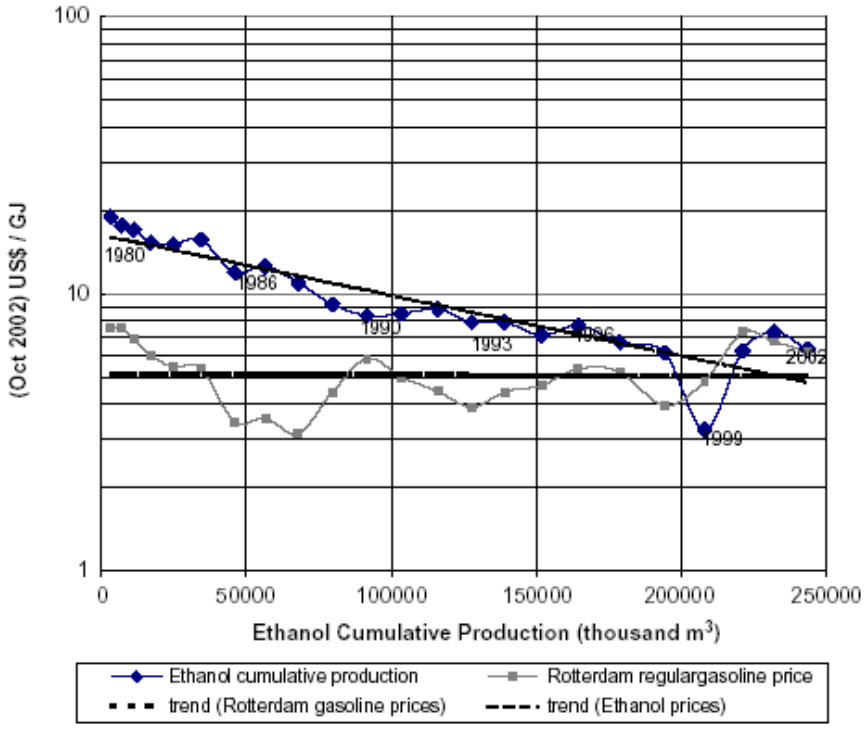
Although the Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (22 August 2005) establishes in Título V, Capítulo II that the Centro de Investigación Científica y Tecnológica de la Caña de Azúcar (CICTCAÑA) shall promote leading technologies for the agro-energy use, no specific mention is made to the strengthening of variety selection programs. Actually, the third Chapter (De la Investigación y Capacitación; Article 23) is detailed in production and conversion systems, but not in variety supply.

An adequate supply of sugar cane varieties is essential to provide material for the needs of any program involving sugar cane expansion areas; future cost reduction (needed to bring the ethanol to a competitive, sustainable situation) will come from better agro-industrial management, using better cane production and conversion technologies; and the last will always rely on potentially better cane varieties.

10.2 Technology availability for agronomic production and industrial conversion

The technology infrastructure needed to support agro-industrial implementation / expansion of any of the analyzed biomass to energy production systems includes technology development (both in agronomic production and in industrial conversion, whenever possible in joint programs) and technology transfer (government extension services, consultants, and engineering companies). It is important to remember that this is fundamental for the program sustainability.

Figure 10.1 Evolution of ethanol price paid to producers compared to gasoline prices (taxes excluded) at the same time (Goldemberg et al. 2004)



A good illustration is the cost reduction obtained in the Brazilian ethanol program, as seen in (Figure 10.1) (ethanol price paid to producers against cumulative production, compared to gasoline prices at the same time); these gains in competitiveness resulted from better management practices, but mainly from technology improvements (Macedo 2004). They were essential to achieve the competitiveness of ethanol production today, against gasoline at international costs, even without consideration for externalities (environmental, social, and economic).

Mexico had a tradition in agronomic research for sugar cane, coffee, and for the arid regions (Lazcano 2006-a); and also the academic programs to support agricultural education. However most of these programs are much smaller today, and the agricultural extension services are almost inexistent. The extension services, which were led by Government offices, were abandoned, leaving the technology transfer to external groups (equipment manufacturers, sellers of agro-chemicals and irrigation systems, other). There are still isolated efforts (without sufficient coordination) supported mostly by some producers and sugar mill owners (in the case of sugar cane). Again, it is important to note that the Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (August 2005) includes the "establishment of research and extension, to support the people and organizations dedicated to the activities…"

The same concepts apply to the industrial research, aiming at the conversion processes in the industrial units. Some areas in universities (UNAM, Universidad Veracruzana, other) have been involved in developments in this area for many years. As seen on the Report on Task 5, biomass to energy programs usually need at least a good perspective for improvement, given in part by the technology development and implementation, to be considered "viable" in a context sometimes hostile, where their positive externalities are not taken into account.

10.3 Summary and Conclusions

The internal sustainability of an agricultural production system requires the ability to respond to pests and diseases of the plant and to periodical climate changes; this can only be accomplished with the use of an efficient disease and pest-resistant variety supply. Important grain crops use large scale multi-national genetic improvement facilities (corn, wheat); sugar beets and sorghum will need more local testing and selection; sugar cane and cassava would benefit much more from local selection programs. Mexico has reduced its important sugar cane variety development program in the last years; since it is essential to provide material also for the needs of any program involving sugar cane expansion areas, this position should be re-considered.

It is also important to provide adequately the agricultural extension services, not relying entirely in equipment manufacturers and sellers of agro-chemicals and irrigation systems, with some coordination and strengthening the efforts of some producers and industrials. This has been contemplated in the Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (August 2005). As seen on the Report on Task 5, biomass to energy programs usually need at least a good perspective for cost reduction, given in part by the technology development and implementation, to be considered "viable" in a context sometimes hostile, where their positive externalities are not taken into account.

11. Environment: Impacts of Fertilizers and Agro-chemicals; soil erosion

11.1 Introduction: the main problems

Looking at the environmental impacts of ethanol production from biomass materials, the relevant issues at the agricultural level are well known for most of the raw materials considered. Corn, sugar cane, wheat, sorghum, cassava and sugar beets are cultivated in many regions of the world, in millions of hectares, in different conditions (though generally, except in cases where large subsidies lead to distortions, in the adequate range of edafo-climatic conditions).

One of the most significant parameters for evaluating many of the environmental impacts is the use (or not) of irrigation; besides the impact in the water supply, in itself, irrigation in some cases may lead to soil erosion, salinization; and to underground and surface water contamination. Nutrient rich runoff from sugar cane fields in Florida is largely responsible for the decline of the Everglades (WWF 2004). In some regions of the world the use of fresh water for irrigation (world average: 70% of the fresh water) may reach 90%; even at lower values it may present local problems for water supply.

As with all other land clearance for agricultural expansion, efforts to increase biofuels production will either imply in using anthropized, to some extent degraded lands (in some countries, land used for long times for cattle raising, extensive pasturelands) or in habitat loss. All agriculture has been developed in this way. Today, half of the world's wetlands have been drained and converted for agriculture (70 – 90 % in the U.S.A. and Europe) (WWF 2004).

When producing ethanol, the adequate use of stillage in ferti-irrigation can be of great value not only to reduce the use of fertilizers (mostly potassium) but also to supply a small amount of water in selected areas and periods of crop growth. It is important for this study to consider the range of variation of the impacts of these crops in the environment, worldwide (here, soil erosion and contamination; water contamination; effects of the use of herbicides, pesticides and fertilizers). This might help establishing suitable objectives to control the environmental impacts, considering the local conditions. Stillage use has been analyzed in Chapter 9.

11.2 Characteristics of the crops considered for bio-ethanol in Mexico

Some of the relevant characteristics (related to environmental impacts) of the crops under consideration are presented below, in the world context; their presence in Mexico is analyzed in the report of Task 4, in this Project (Lazcano 2006b).

Sugar cane is planted in 104 countries, 20 M ha (20002) worldwide; production was 1260. M t in that year (FAO 2002). Pest and disease problems have been much reduced with breeding programs (leading to lower agrochemicals utilization); also biological controls are increasingly important (Clay 2004).

Soil losses due to water erosion present a wide range of values depending (as expected) not only on the use of irrigation, but also in the agricultural practices. Values from 15 to 500 t soil / ha.year have been reported (WWF 2004), although it is known that in some very large areas (as in Brazil, with more than 6 M ha; no irrigation) erosion has been kept at average 12.4 t / ha.year. One problem aggravating water produced soil erosion in sugarcane plantations is the use of areas with high slopes (higher than 15^{o} declivity). Recommended practices are the use of adequate terracing (with re-vegetation of rain water overflow channels) and minimum tillage (avoiding deep ploughing). Also, the maintenance of the riparian vegetation, to act as a buffer between the agricultural activity and the waterways, is an important practice. Soil loss at harvest can be kept relatively small even with mechanical harvesting (~3%).

Water use for industrial processing is due to the cane washing pre-processing (3 - 5% of the cane weight, in water) and the many uses at the industry. Cane washing is being rapidly abandoned (even when mechanical harvesting is not used) in most regions; it is possible that "dry cleaning" processes will be introduced in the next years (see Chapter 7.2).

The use of agro-chemicals (fertilizers; herbicides; pesticides) in the sugar cane industry is well known, as well as their variation in different regions. Some interesting issues have been under discussion (like the possibilities for new technologies, based on genetically modified plants, to reduce pesticide utilization). Ideally, biological controls and, to the extent possible, "organic" agriculture techniques would be used. The recent analyses presented for Brazil (Macedo I.C. 2005) indicate that pesticide consumption in sugar-cane crops is lower than in critic, corn, coffee and soybean crops; the use of insecticides is relatively low (0.12 kg active ingredient /ha, 2003; against 0.18 for corn). Biological controls are used for the sugar-cane beetle (the most important pest) and the *cigarrinha.*

Sugar-cane diseases are fought against through the selection of disease-resistant varieties in major genetic improvement programs (Arrigoni 2005).

In Brazil, sugar-cane crops still use more herbicides than coffee and corn crops (2.29 kg active ingredient / ha, against 1.41 for corn), less herbicides than citric crops, and the same amounts as soybean crops (Ricci Jr 2005). They also use less fertilizers than cotton, coffee and orange, and is equivalent to soybean crops (0.46 t / ha); Australia uses 48% more. The full recycling of wastes to the field (especially stillage) was essential to obtain good results, mainly with Potassium (Donzelli 2005a). Sugar-cane culture in Brazil presents a relatively small soil erosion loss (12.4 t / ha.year). This is improving as harvesting without burning expands, reducing losses to very low rates that are comparable to those for direct planting in annual cultures (Donzelli 2005b).

Sugar cane production in Mexico is well known, and the main characteristics (areas, productivities, use of irrigation) have been reported in (Lazcano 2006b). Nearly 40% of the production is in the Veracruz state (COAAZUCAR 2005), where also are reported the main expansion areas. Most of the environmental issues for sugar cane in Mexico are the same as in Brazil, where the legislation, including rules and controls from production to use and disposal of materials, covers all important aspects.

There is no need to obtain an environmental license for planting sugar cane in expansion areas (new areas, pastureland) in Mexico; there is need to obtain license to use water for irrigation.

The industrial processing plants have a set of environmental rules to obey, including on the disposal of stillage.

***Wheat** is* planted in 213. M ha, yielding 585. M t / year (2000); average (world) productivity was 2.74 t / ha, with 5.4 t/ha in the EU (FAO 2005). Wheat needs high quality, disease free seeds; and it has led agricultural mechanization (with the very large areas of monoculture in use). The relatively low productivity in many places leads to high energy use / t of product.
The use of pesticides has been 1 – 3 kg/ha; Nitrogen fertilizer is used in 85% of the winter crop and Potassium in 10%, in the U.S. (Clay 2004).

Wheat is the second most irrigated crop in the world (perhaps because the concerns with "food safety" lead to the use of inadequate areas); the intensive production leads to the known problems in some countries (soil erosion, salinization). Winter crops can have smaller soil losses (good soil cover) and use less fertilizer / ha.

Mexico developed dozens of wheat varieties.

Corn (maize) was cultivated (2000) in 138.7 M ha, yielding 593 M t / year, (average productivity: 4.27 t / ha) (FAO 2002). It is produced in very different settings, worldwide; with correspondingly different environmental impacts.
Although most corn in the world is produced without irrigation, in the U.S. it is the second largest consumer of irrigation water. Corn also uses 50% of all the fertilizer in the U.S. The production of corn in the U.S. (42% of world's production, in 2000) used fertilizers as follows: Nitrogen (98% of the crop); P (85%); and K (73%). It also used herbicides (97% of the crop; 200 kg active ingredient / ha); and insecticides (30% of the crop; 3. kg / ha) (Clay 2004). In 2000 the highly mechanized and subsidized corn production in the U.S. reached 8.6 t / ha.

There have been efforts to reduce the use of inputs, with success. Also, the use of good practices to reduce erosion (conservation measures: terraces, crop rotation, reduced or no-till cultivation) has resulted in losses of 14 t / ha.year in 1992, compared to 19.5 (1982) and 37. (1930). The development of ethanol production from corn in the U.S. has brought to attention the issues relative to the need to reduce inputs to the corn production, both to achieve a "sustainable" energy ratio and to reduce greenhouse gas emissions due, for instance, to the Nitrogen fertilizers.

Mexico has traditionally cultivated corn, in large or small areas. It is cultivated all over the country, in all climates (Lazcano 2006b). Production is ~20 M t / year, and importation is 6 – 7 M t. Large irrigated areas can yield 10 – 12 t / ha (with relatively low profit); some subsistence cultures reach only 0.5 – 1 t / ha. The NAFTA implications for the Mexican corn production were clear: the small scale producers in Mexico (90% with areas smaller than 2 ha) could not compete with the conditions in the U.S. (including subsidies); in 2002 they had lost ¼ of their market, and serious problems are foreseen when the limits to American exports are eliminated in 2008.

Sorghum bicolor is cultivated in 42. M ha, with a global production of 58. M t (averaging 1.38 t / ha); it is produced both for food or animal feed. India is the leader producer in area (25%, in 2000); but productivities vary considerably, and the U.S. has the largest production

(11.9 M t, with 3.6 t/ ha) (FAO 2002). The production in Mexico was 5.8 M t with 3.05 t / ha, in 2000 (Clay J. 2004); Mexico was one of the main importers of sorghum (grain) in 2000.

When considering ethanol production, most experiments worldwide have been conducted with sweet sorghum. Usually the sorghum crop consists of the grain sorghum varieties, not the "sweet" sorghum; today, sorghum is bred in four distinct groups: grain (flour, beer); fiber (fiber board, paper, etc); multi-purpose (all uses); and sweet (sugars).

The experimental developments worldwide show that sorghum can yield 10 t / ha, in "ideal" conditions (including plenty of water). However, the most important characteristic of the sorghum crop is its ability to resist drought, and low fertility lands; and this has been the cause of sorghum importance in many arid regions. Sweet sorghum uses one third less water to produce the same amount of above ground biomass as sugar cane (Woods 2001). However, production in Zimbabwe (sweet sorghum) led to half the volume of ethanol as compared to sugar cane in the same conditions, for the same area.

Two types of grain sorghum production are found:

- The intensive, commercialized production, with hybrid seeds, fertilizers, mechanization and water management; it corresponds to 15% of the area, and 40% of the world sorghum production; yields are 3 – 5 t/ ha
- The production for subsistence: rain fed, low fertilizer inputs, low mechanization; yields are 0.5 – 1.0 t / ha.

The environmental impacts of sorghum production depend on the cultivation techniques. Its resistance to drought and poor soils led to expansion in "marginal" areas, with habitat conversion in fragile lands. Sorghum is very much chemically dependent (herbicides, pesticides); and its high biomass production leads to fire hazards.

Sorghum (for silage) may lead to very high erosion rates (even at 4^{o} declivity); the problem is smaller with grain sorghum. Its deep root system leads to soil depletion after long utilization (Clay 2004). Considering the use of combined production (sweet sorghum) with sugar cane: the long term effects on soil nutrients, water and soil biology are not known (Woods 2001).

The production in Mexico (grain sorghum) grew fast after the introduction of the hybrids, in 1950; in 1982 sorghum provided 74 % of the animal feed in Mexico, with a much higher net profit per hectare than corn (Clay 2004). Here also the implications of NAFTA influenced prices in Mexico, lowering the profits and leading farmers to other higher value, labor intensive agricultural products. For sweet sorghum the tests with varieties still have to be performed.

Cassava was planted (2000) in 16.8 M ha, yielding 178.6 M t / year (average 10.6 t / ha) (FAO 2002). It has been a crop for small farmers, related to food security, with many uses. In 1993, 58% were used for food; but in Brazil already 48% were used for animal feed.

It is more tolerant than grains to low soil fertility, drought, pests and diseases. With good soils and water, productivities of 30 t / ha are reached. Cultivation usually includes intercropping. Small farmers use low fertilizer or pesticides levels. Only Thailand and Brazil had cassava

cultivated in extensive areas, as a single crop (for ethanol and animal feed), although Nigéria is the world's largest producer. Cassava is a very labor intensive culture, and presents high transportation costs.

Environmental problems (besides eventual habitat conversion) are found with soil erosion, because the plant does not cover the soil adequately; the problem may be aggravated by the fact that the soils used for cassava are poor.

Cassava was planted experimentally in Mexico (1300. ha; 2004) mostly in Tabasco (Lazcano 2006b).

Sugar beets are cultivated in many temperate areas in the world. The cultivated area in 2000 was 6.0 M ha (FAO 2002); it had been declining, having reached 8.6 M ha in 1990. The main reason is the gradual elimination of subsidies to the European farmers. Global sugar yields (agronomic) in 2003 were 7.5 t sugar / ha for sugar cane and 6.2 t sugar / ha for sugar beets (LMC 2004). The five year average yields (2000-2004) for the leading producers in Europe were 61.8 t beets (roots) / ha (France); 65.2 (Belgium); 57.3 (Germany) (F O Lichts 2005). Commercial production in some places (Russia, Finland) yielded less than 37 t / ha. European averages are 57.4 t / ha (FAO 2005).

Sugar beets are vulnerable to wind erosion, besides water erosion (in places where the fields are left bare in winter months). Estimates of wind erosion in the U.S. are 13 – 49 t soil / acre.year. Today 20% of the beets production is irrigated; in regions like the Spanish Andalusia the beets production contributes heavily to the lower water levels of the rivers (WWF 2004).

The sugar beets harvesting procedures lead to 10 - 30% loss of soil; this very high value adds to the problems at the beets pre-processing washing, at the industry, where 10 – 30% of the beets weight (in water) is used.

Herbicide utilization in sugar beets production is among the highest for all crops (Clay 2004). Some data from the U.K. indicates 1.15 kg / ha of herbicides/insecticides; 141 kg of K_2O; 56 kg Phosphate; and 147. kg N (Thompson and Campbell 2005).

In Mexico sugar beets have been cultivated in the Región de Mar de Cortés, only for demonstration. Experiments were successful (Lazcano 2006b) but they have not been continued. The tropical beets (for feed) are cultivated (small areas) in dairy producing areas.

11.3 Summary and Conclusions

The relevant issues relating environment protection to the feedstock production are well known for of the raw materials considered. An important parameter is the use (or not) of irrigation; it impacts the water supply, and may lead to soil erosion, salinization, and to underground and surface water contamination. Agricultural expansion will imply in using anthropized, to some extent degraded lands; or in culture substitution or in habitat loss.

For ethanol production the adequate use of stillage in ferti-irrigation can reduce fertilizers (mostly potassium) and supply a small amount of water in selected areas and periods of crop growth, turning it into a valuable by product.

The knowledge of the environmental impacts of these crops worldwide (soil erosion with water and wind; use of agro-chemicals: fertilizers, pesticides, herbicides; water utilization and contamination) and the large experience in Mexico with some of them help establishing limits, considering the local conditions. A summary for each crop is presented, emphasizing soil loss, agrochemicals use and trends in mitigation. Stillage disposition and use is reviewed in Chapter 9.

12. Economic and social impacts

12.1 Introduction

The search for external sustainability determines that agricultural production should not impose any adverse economic impacts on the external environment; the externalization of costs to be paid by other sectors of society is an evidence of unsustainable production. However, since very high subsidies (in many different ways) are currently in use all over the world for energy and agricultural products, one must be careful when evaluating the situation of bio-ethanol; it is necessary to compute *all* the externalities associated with the fossil energy in use. This subject has been treated extensively in the last years, and it will not be detailed here. Some of the (not included in cost calculations) externalities considered by the countries already implementing ethanol blends in gasoline (irrespectively of having or not ethanol cost lower than gasoline production cost) are:

Energy security today (with a growing cost associated to it); the depletion of oil reserves

Environmental protection (local and global)

Improving the balance of payments

Job creation in agriculture (and industry)

Rural development; reversion of unsustainable urbanization

In the next paragraphs we will summarize the investments and costs needed today for bio-ethanol (as detailed in the report on Task 5), commenting on some future perspectives; outline the impacts on the balance of payments, and on job creation.

12.2 BioEthanol costs and needed investments (from Task 5)

The report on Activity 5, in this Project (Nogueira 2006) shows that the cost of gasoline in Mexico went from US$ 0.33/l in 2004 to US$ 0.52 / l in the first months of 2006; and the 2005 level (~US$ 0.45 / l) is a good reference for this cost, looking at the expected future (2030) cost of oil. The cost of imported MTBE, in 2005-2006, is US$ 0.55 – 0.47 / l. With the equivalence of 1 liter ethanol to 1 liter gasoline (in blends up to 10%, as considered here), a reference “value” (parity cost) for ethanol when substituting for gasoline and MTBE was taken at ~US$ 0.45 / l.

The economic analysis of production / utilization of ethanol in Mexico, within the three Scenarios proposed and considering as feedstock corn and sugar cane (conventional processes) or sugar cane (with hydrolysis), cassava and sugar beets (relatively new, and in one case non commercial technologies), were presented in the previous Report on Activity 5 (Nogueira 2006). Considering the context, adequate production scale was adopted, and the number of producer units was established as well as the investment needs. Feedstock (corn, sugar cane) cost was estimated with information available (not taken as the practiced current prices).

Conventional processes lead to the lowest investment needs (with corn leading, mainly for its operation during all the year);

Sugar cane leads to the lowest area requirements (sugar cane using cane juice, improving with some hydrolysis) although sugar beets and corn are relatively close (~10 – 20% higher).

The net economic result (US$ / l), including 28% taxes, is negative for all cases, with ethanol prices at US$ 0.45 / l; it is positive for the "conventional" combinations of biomass / technologies (sugar cane and corn) for ethanol prices between US$0.45 and US$ 0.55 / l. It remains negative for all new technologies, even at US$ 0.65 / l ethanol. The sensitivity analysis shows that for all the conventional technologies (based on sugar cane and corn) the feedstock cost is the most important; 10% lower cane cost leads to 6% reduction in ethanol cost (4% in corn).

The ethanol costs were based on estimated biomass cost for Mexico; if the average current corn prices in Mexico were used (US$ 173. / t) ethanol cost would be 32% higher, at 0.58 US$0.58 / l. The same applies to sugar cane; the KARBE price last year (US$ 33. / t cane)) would lead to ethanol price of US$ 0.59. / l , or 37% higher.

This result is particularly interesting for the sugar cane; looking at the production in Mexico today it is common sense (as we discussed in many interviews) that cane cost can be reduced significantly. The same can be said about processing cost, with higher conversion efficiencies and eventually power production with modern co-generation. It is interesting, in this context, to see that all the bio-ethanol programs in Europe and the U.S. (as well as the bio-diesel programs) started with large differences between ethanol and gasoline costs; but a much closer and meaningful association must be found in the Brazilian ethanol program (based on sugar cane). Looking at Figure 10.1 the impressive reduction in cost since the beginning of the program made the ethanol cost actually lower than the gasoline (international) cost, due to technology and management. This is expected to happen in a similar program in Mexico, with the benefit of also helping to develop a much stronger sugar industry.

It must be remembered that the better use of co-generation might have an important effect in overall cost reduction. As an example, for the situation of Case 2 (Table 2.6), co-generation in high pressure (using only bagasse) would lead (in Brazilian conditions) to 10% increase in sales value (with electricity), no change in feedstock cost, and a much smaller (%) increase in total investment.

12.3 Other impacts: balance of payments, local industry

With the importation costs considered, the reduction in the imports of gasoline and MTBE (base: 2005) in Scenario 3 (10% ethanol blend) would lead to savings of US$ 1.75 10^9 in foreign exchange (~2.0 10^9 in 2010).

The industry's development will require advances from manufacturers of equipment for both the agricultural and industrial sectors, with improvement in their technological level; this will translate to job and income creation. Equipment for sugar and ethanol production and combined heat and power generation may have a nationalization index of nearly 100 percent in Mexico.

12.4 Impacts on job creation

The transition in the Mexican agriculture, described in Chapter 6.4, makes it difficult to estimate with precision the number of farmers involved in agricultural activities today (Lazcano 2006a). The expected buying of land in large scale by the sugar mill owners, after 1992, did not happen; sugar cane land owners today can receive (with 5 ha) the value equivalent to three minimum wages (against one, for 40% of all the other workers). In other cultures the situation is different (sugar cane has specific laws).

The XII Censo General de Población y Vivienda 2000 (INEGI 2000) indicates (projections for 2005) ~25 M people living in rural areas. There are 3.77 M production units, with approximately 10.8 M workers.

For corn, approximately 3.1 M producers are involved (from a total of 5.4 M in agriculture and cattle rising, as mentioned in (Bioenergéticos 2006).

For sugar cane the number of 150000. cane growers is taken as a reference although more people are involved, in each property, in the production. The estimate of 400000. direct employees (field and industry) is presented in (Bioenergéticos 2006). Another estimate mentioned in (Lazcano 2006a) indicates that 150000. (direct plus indirect) jobs would be created for 60000. ha, in energy crops.

In Brazil the sugar cane agro-industry has shown a great flexibility in the number of jobs created / unit production: in areas with large manpower available and comparatively lower incomes (like the North-Northeast, as compared to the Center-South) the agricultural mechanization and industrial automation are smaller, and jobs / unit production may be up to 3 times larger than in regions where manpower is more difficult to find, and wages are higher. In all cases, the average wages in agriculture were higher in sugar cane than in all other cultures (except for soybeans, a highly mechanized culture). The *direct (formal and informal) jobs* in the agro-industry reached ~930000. in 2002 (Moraes 2005), for a sugar cane production / processing of 318 M t cane / year. The estimated indirect jobs (late 1990's) were nearly the same, yielding ~5800. jobs (direct and indirect) / M t cane.

These are averages, and as said the difference in jobs / cane produced can be very large among regions. Besides, it is difficult to foresee the structure of production in Mexico for the next years; possibly two systems will coexist, one close to the situation today (large number of land owners, small areas; with some degree of cooperative action) and other with much larger areas. Suitable structures (for both systems) will lead to differences in job creation. In the situation as today, reaching 10% ethanol in all gasoline would require to double the jobs in sugar cane agro-industry.

Similarly, for the needs of Scenario 3 (10% ethanol in gasoline; 3.9 M m^3 ethanol) the corn production would have to increase in 46% (plus 9.7 M t, over the production today of 21M t), with a corresponding increase in jobs. Again, new production structures would impact in this figure.

12.5 Summary and Conclusions

Conclusions on the economic evaluation are presented in the report on Task 5.

A reference "value" (parity cost) for ethanol when substituting for gasoline and MTBE was taken at ~US$ 0.45 / l. The estimates, using feedstock cost based in the production actual cost (not feedstock price) indicate:

Conventional processes have the lowest investment needs (with corn leading, mainly for its operation during all the year);

Sugar cane presents the lowest area requirements although sugar beets and corn are relatively close (~10 – 20% higher).

The net economic result (US$ / l) is negative for all cases, with ethanol prices at US$ 0.45 / l; it is positive for the "conventional" combinations of biomass / technologies (sugar cane and corn) for ethanol prices between US$0.45 and US$ 0.55 / l. It remains negative for all new technologies, even at US$ 0.65 / l ethanol. The sensitivity analysis shows that for all the conventional technologies (based on sugar cane and corn) the feedstock cost is the most important; 10% lower cane cost leads to 6% reduction in ethanol cost (4% in corn).

The results are very interesting for sugar cane, since it is known that cane cost (and processing cost) can still be reduced significantly with higher conversion efficiencies and eventually power production with modern co-generation. Lower biomass production cost is essential for a faster implementation of any energy crop program; and it is dependent in other (institutional) factors, as discussed in Chapter 6.

Although sugar cane is best placed, corn leads to very close economic results. Other points will of course be considered, like land utilization. Other crops may be interesting in specific areas and conditions.

Reducing gasoline and MTBE importation as in Scenario 3 (10% ethanol blend) would lead to savings of US$ 1.75 10^9 (2005) in foreign exchange (~2.0 10^9 in 2010). Equipment for ethanol production and combined heat and power generation may have a nationalization index of nearly 100 percent in Mexico, creating jobs and strengthening the industry.

It is difficult to estimate with precision the number of farmers involved in agricultural activities today (and the expected farmer productivity in the next years). In today's conditions, reaching 10% ethanol in all gasoline (Scenario 3) would require to double the jobs in sugar cane agro-industry; or, alternatively, increase in 45% the jobs in corn production. New production structures (larger areas, mechanization and automation) would lead to lower figures; however job creation (at relatively low investment) would be one of the most important contributions of the program (as it is in other places).

Annex 1 Ethanol from sugar cane: energy ratios and greenhouse gas emissions for selected production schemes in Mexico

The production of ethanol from sugar cane in Mexico may include many options (processes and agricultural / industrial efficiencies); they have important consequences for the Fossil Energy Ratio (and consequently for the impacts in the energy sector) and for the emissions of greenhouse gases.

The average values for the production of ethanol in Brazil are shown in Chapter 2 (energy) and Chapter 3 (GHG avoided emissions), as a reference. The same methodology is used here to estimate results for three "limiting" cases considered suitable to analyze the possibilities in Mexico. They consider the small annexed distilleries to the existing sugar mills; the independent, modern distilleries operating with cane juice, with agricultural production in different conditions, including co-generation for selling electricity; "improved" independent distilleries, with low energy use in internal processes; and a hypothetical case where some trash is recovered from the unburned cane harvesting, added to "saved" bagasse and this biomass is used for hydrolysis / fermentation to ethanol. These options are suitable to obtain indicators for the "commercial technology" possibilities and for an initial stage of "future technologies" (which could evolve into the use of larger amounts of trash, when possible, and "integral cane"). They also show the differences in the energy ratio when looking for either more electricity surplus or more ethanol, with the available technologies.

- Case 1: small annexed distillery, operating with exhausted molasses. The sugar mill operating parameters and efficiencies are the average for today's sugar mills in Mexico; only the distillery is "new", with modern fermentation / distillation systems, and conversion efficiencies equivalent to the "state of the art".
  Main parameters:

  Cane productivity: 77 t cane / ha

  10% harvesting mechanization; 100% burned cane;

  1 l diesel / t cane (transportation)

  Electric energy bought (industry): 1.25 kWh/t cane

  Total electricity used (industry): 17 kWh/t cane

  Fuel oil bought (industry): 8.5 l/ t cane

- Case 2: Autonomous (independent) distillery; operating with cane juice. The operating parameters correspond to a new, modern factory, with efficiencies equivalent to the best (commercial) systems; a co-generation system in included, at 62 bar (abs) - 450°C; CEST. The steam consumption in processes corresponds to the "average" Brazilian mills (high: ~500 kg steam at 2.5 bar (abs)). This is the trend for new Brazilian ethanol distilleries (except for the CEST, existing but not used yet) aiming at increasing power surpluses.

The agricultural parameters are:

Cane productivity: 70 t / ha ("future" rain fed production)

20% harvesting mechanization, 80% cane burning, no trash recovery

Fiber % cane = 13.21; Pol % cane = 13.68

- Case 3: Autonomous distillery; the only differences to Case 2 are the introduction of energy efficient systems to reduce the thermal energy requirements of the processes at the industry. They are all commercial systems; the steam consumption lowers to 350 kg steam at 2.5 bar (abs) / t cane. This improves power exports (using the CEST co-generation scheme); many mills are considering this option for the next years, in Brazil, because it will be necessary if the hydrolysis of bagasse / trash becomes commercial.

- Case 4: This is an option including non-commercial technology; it would be a first step towards future (possible) systems to use hydrolysis of the cane wastes to increase ethanol production. Considering Case 3, the difference is the recovery of some of the trash (40% over the 20% of the area harvested without burning; so, only 8% of the total trash). This biomass, together with the "saved" bagasse from the low steam consumption processes, is used for producing ethanol. No electricity exports are made: all biomass goes to ethanol.

In all cases, the use of fertilizers is assumed to be equivalent to the Brazilian average consumption. Small differences would not impact significantly either the Energy Ratio or the emissions.

Table A1.1 Parameters for the autonomous distilleries, Mexico (Cases 2, 3, 4)

Cane milled	2 M t / year
Operation	Only during harvesting season; 200 days, 90%
Efficiencies	
Fermentation/distillation	91%
Extraction	96,1 %
Juice treatment	99,3 %
Power generation (1), (2)	Boiler: 62 bar (abs) - 450°C; CEST(3) 80% efficiency; Condensing: 0.11 bar

(1) Power Generation internal energy consumption: 10%

(2) Mechanical drive turbines at 22 bar (abs)

(3) CEST: extraction-condensing turbines, 62 – 22 – 0.11 bar cascade

The production results for the cases under study are shown in (Table A1.2).

Table A1.2 Ethanol and Electricity production, Distilleries in Mexico

	Unity	**Case 1**	**Case 2**	**Case 3**	**Case 4 (1)**
Distillery type		Annexed	Independent	Independent	Independent
Operation	Days	200	200	200	200
Burned cane	%	100	80	80	80
Mechanical Harvesting	%	10	20	20	20
Trash recovery	%	0	0	0	40 (2)
Productivity					
Cane	t / ha	77	70	70	70
Anhydrous ethanol	l/ t cane	n.a. (3)	84	84	102 (4)
Energy Use					
Electricity	kWh/t cane	17	12	12	42 (5)
Mechanical Drives	kWh/t cane	(3)	16	16	16
Steam	kg/t cane	(3)	500 (6)	350 (6)	465 (7)
Energy Production					
Ethanol	m^3/year	(3)	166940.	166940.	204430.
Surplus biomass	t/year	0	0	0	0
Electricity					
Total	kWh/t cane	n.a.	73	84	45
Surplus (sold)	MW	0	25	30	0
	kWh/t cane	0	54	65	0

1) Ethanol production from sucrose and from cellulose

(2) 40% over the unburned cane

(3) Ethanol from molasses, only; a value of 10.8 l / t cane was used. Energy ratio and GHG were calculated for the "equivalent" cane (sucrose utilization); the operational parameters (specific energy use, efficiencies) are the same as for Case 2 unless specified.

(4) From sucrose (84 l/t cane) plus hydrolysis / fermentation (268 l/t (Dry Matter).

(5) Conventional process (from sucrose): 12 kWh/t cane; plus hydrolysis (92 kW/MW_{PCS}).

(6) Saturated steam, at 2.5 bar (abs).

(7) Conventional process (from sucrose): 350 kg/t cane; plus hydrolysis (1620 kg/t (Dry Matter)).

Table (A1.3) shows the main results for the energy flows.

Table A1.3 Energy inputs / outputs for cane production and conversion to ethanol, (kcal/t cane) (1)

	Case 1	**Case 2**	**Case 3**	**Case 4**
Total cane production (inputs)	**49231.**	**51529.**	**51529.**	**51563.**
Agricultural operations (2)	8688	8625	8625	8609
Transportation (cane and inputs)) (3)	10624	10357	10357	10406
Fertilizers (4)	16343	17978	17978	17978
Lime, herbicides and insecticides	4672	4851	4851	4851
Agricultural equipment	7470	8217	8217	8217
Seeds	1434	1501	1.501	1.502
Ethanol production (inputs)	**115652**	**10201**	**10201**	**12061**
Industrial buildings (5)	8681	8681	8681	10541
Industrial inputs	1520	1520	1520	1520
Electricity (6)	3498	0	0	0
Fuel oil (7)	101954	0	0	0
INPUT (total)	**164883**	**61730**	**61730**	**63624**
Ethanol	448576	448576	448576	544700
Bagasse	0	0	0	0
Electricity (6)	0	151.095	181.874	0
OUTPUT (total)	**448576**	**599672**	**630451**	**544700**
Ratio Output/Input	**2.7**	**9.7**	**10.2**	**8.6**

(1) The methodology used (and process conditions, except when stated otherwise) may be found in (Macedo I. C.; Leal M. R. and Silva J.R. 2003). Values are all related to the primary energy.

For Case 1, the calculation is performed as if for an independent distillery, with the equivalent cane processing (so the sugar production is isolated).

(2) For Case 1: specific fuel utilization was assumed to be 20% higher than for the other cases.

(3) Case 1: 1 liter /t cane. All the other cases: use of simple trucks (8%), two-load trucks (25%) e three-load trucks (67%).

(4) Considering stillage ferti-irrigation and filter cake distribution in 30% of the area.

(5) Values based in a distillery for 180000. l/day.

(6) Energy equivalent in Natural Gas for a power station with 38% efficiency. In Case 1 the distillery buys 1.25 kWh/t cane; in Cases 2 and 3 the distillery exports energy.

(7) Case 1: direct use of 8.5 l/t cane.

Note that the much smaller energy ratio for the annexed distillery (Case 1) results essentially from the high (external) energy inputs needed at the industry: the Mexican mills (on the average) buy both electricity and fuel oil. This is not the situation for the (modern) independent distilleries, Cases 2 to 4. It will not be the (expected) situation for annexed distilleries to the sugar mills, in the future.

Cases 2 and 3 show energy ratios better than the today's Brazilian distilleries (where the average is 8.2). Case 2 has a much higher amount of exported electricity (being operated at high pressure steam; most Brazilian distilleries are not yet at this condition); Case 3 is still better due to the use energy saving equipment at the factory.

In Case 4 we note the effect of lowering electricity exports and increasing ethanol production with the use of some trash (still a small fraction, 8%): the energy ratio is smaller, although the ethanol output is higher. This is due to the different conversion efficiencies found today for the two energetic, in the conditions established. Of course the use of higher trash volumes (when possible, with advancing harvesting mechanization) will change those values.

Following the same methodology as in (Macedo I. C.; Leal M. R. and Silva J.R. 2003) the greenhouse gas emissions in the life cycle for the ethanol production in the four Cases were estimated. The main results are presented in the (Table A1.4). The same considerations about the relative importance of producing more ethanol or more electricity from the available biomass (Cases 3 and 4) from the energy ratio perspective, apply here, for the GHG emissions avoided.

Table A1.4 Greenhouse Gas Emissions and Avoided Emissions, Sugar cane to ethanol distilleries (t CO_2 eq / m³ anhydrous ethanol) (1)

	Case 1	**Case 2**	**Case 3**	**Case 4**
Emissions from processes	**0.84**	**0.43**	**0.43**	**0.36**
Diesel oil(2)	0.07	0.07	0.07	0.06
Fuel oil (3)	0.55	0.16	0.16	0.14
Natural Gas (4)	0.01	0.00	0.00	0.00
Cane burning (5)	0.13	0.11	0.11	0.09
N_2O (6)	0.08	0.09	0.09	0.07
Avoided emissions	**-2.80**	**-3.15**	**-3.22**	**-2.80**
Surplus electricity (7)	0.00	-0.35	-0.42	0.00
Anhydrous ethanol (8)	-2.80	-2.80	-2.80	-2.80
Net Value	**-1.92**	**-2.72**	**-2.79**	**-2.44**

(1) Considering all direct and indirect components.

(2) Agricultural operations and transportation (cane, inputs)

(3) Energy in equipment or inputs (fabrication); in Case 1, also for direct use in the industry

(4) For the (equivalent) power generation.

(5) Emissions from burning sugar cane before harvesting

(6) Soil emissions of N_2O (from fertilizer utilization)

(7) Value computed at the equivalent use of Natural Gas for generation.

(8) 1 L anhydrous ethanol ≅ 1 L gasoline; use in blends up to 10% vol.

Annex 2 Standards for ethanol storage tanks and systems, and ethanol transportation in Brazil

The standards for the manufacture of storage tanks, storage tank systems for ethanol and the handling of ethanol in storage and transportation in Brazil are (essentially) derived from the API standards (for oil, and oil derived fuels) with adequate adaptations (Koizumi 2006). The basic standards are listed below, both the Brazilian specific standards (NBR) and the applicable API – NFPA standards.

- NBR-7505/2000	Armazenagem de petróleo, seus derivados líquidos e alcool carburante.
- NBR- 7820/1983	Segurança nas instalações de produção, armazenamento, manuseio e transporte de etanol.
- NBR- 7821/1983	Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados.
- NBR- 5419/2005	Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas.
- NBR- 5418/1995	Instalações elétricas em ambientes com líquidos , gases ou vapores inflamáveis - procedimento.
- NBR- 5363/	Invólucros à prova de explosão para equipamentos elétricos - especificação.
- NBR- 98/66	Armazenamento e manuseio de líquidos inflamáveis e combustíveis.
- NBR- 13860/97	Glossário de termos relacionados à segurança contra incêndios.

- API – 620	Design and construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks, Tenth Edition- American Petroleum Institute.
- API – 650	Welded Steel Tanks for Oil Storage, 10th Edition - American Petroleum Institute.
- NFPA -30/1955	Flammable and Combustible liquids code.
- NFPA -497/1997	Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installation in Chemical Process Areas.

For the transportation systems the legislation is not specific to ethanol; the complete text can be found at www.antt.gov.br/legislacao/PPerigosos/Nacional/;index.asp:

- Decreto Federal 96.044, 18/05/1988

- Resolução Nº 420/04, Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT

Annex 3 Water utilization in a sugar mill with annexed distillery

The uses of water in a sugar mill with annexed distillery are shown in Table A3.1, for the average conditions in Brazil (Elia Neto 2005).

Table A3.1 Water uses (mean values) in mills having an annexed distillery

Sector	Process	Mean Use (total m^3/ t cane)	Distribution (%)
Feeding	Sugar-cane Washing	5.33	25.4
Extraction (grinding)	Imbibition	0.25	1.2
	Bearing Cooling	0.15	0.7
Juice treatment	Preparation of Lime Mixture	0.01	0.1
	Cooling at Sulphitation (A)	0.05	0.2
	Filter Imbibition	0.04	0.2
	Filter Condensers	0.30	1.4
Juice Concentration	Condensers/Multi-jets Evaporation (A)	2.00	9.5
	Condensers/Multi-jets Heaters (A)	4.00	19.0
	Molasses Dilution	0.03	0.1
	Crystallizer Cooling (A)	0.05	0.2
	Sugar Washing (A)	0.01	0.0
Electric Power Generation	Steam Production	0.50	2.4
	Turbo-generator Cooling	0.20	1.0
Fermentation	Juice Cooling (B)	1.00	4.8
	Fermentation Cooling (B)	3.00	14.3
Distillery	Condenser Cooling (B)	4.00	19.0
Other	Floor & Equipment Cleaning	0.05	0.2
	Drinking	0.03	0.1
Total		21.00	100.0

(A): in sugar production only

(B): in ethanol production only

The value of 21. m^3 / t cane would be reduced to ~ 15m^3 / t cane, for an independent distillery (only producing ethanol). In any case, it demands a large number of water re-utilization in the processes; the average water withdrawal from the sources (rivers, lakes, underground water) was 5.6 m^3 / t cane in 1990 (with consumption of 1.8, and releasing 3.8 m^3 / t cane of treated water). After a successful program to reduce the water withdrawal (increasing recycle) the value in 2005 was only 1.8 m^3 / t cane (Elia Neto 2005).

Annex 4 Stillage Concentration System

The information on this commercial stillage concentration system, designed for concentrating stillage from exhausted molasses to 35% dry mass, was supplied by Dedini – Vogelbusch, Brazil (T. Orosz, March 2006).

Initial stillage: 240 m3 / h; 5% dry mass (Brix); T= 85 ^{o}C

Final Products:

Concentrated stillage: 34 m3 / h; 35% dry mass (Brix); T= 35 ^{o}C

Mud (residue): 0.8 t / day; 40% DM; may be mixed to the stillage

Condensate: 196 m3 / h; BOD = 1500 mg/l; T= 72 ^{o}C

Utilities:

Cooling water (1650 m3 / h; 30 ^{o}C;

Process water: T= 28 ^{o}C; Chlorine < 30 mg/l; Residues < 1000 mg/l

Electric power: 500 kW

Nitric Acid (cleaning) : <1500 kg / day, 67.5% purity

The multiple effect evaporation system consists in falling film evaporators, a stillage pre-heater, separation and expansion vessels, condenser and hydrocyclones.
This system may cost (turn-key) from 10 to 15 M R$ (Brazilian Real), today ~5 to 7 M US$, at this capacity.

Figure A4.1 Plant for stillage concentration

Annex 5 System for Anaerobic Digestion of Stillage

A typical example of installation for stillage treatment (for discharge in rivers, with adequate environmental restrictions) today may have as main characteristics:

Process: Methax/Biopaq IC, Anaerobic + Aerobic

Distillery: Cane Juice + B molasses; 15 l stillage / l ethanol; 200 000. l ethanol/day

Stillage	3000 m³/day
Stillage and dilution water	4000 m³/day
COD	30000 mg/l
BOD	16500 mg/l
Suspended solids	300 mg/l
N: 45; P: 2500; Ca: 1000; Mg: 300; SO_4: 750 mg/l	
Temperature 88 ºC;	pH 4.5
Total Organic Contents:	90000 Kg DQO/day
	49500 Kg DBO/day

Treated stillage

Flow rate	4000 m³/day
BOD	≤ 200 mg/l
Solids	≤ 1.0 ml/l.h
Temperature	≤ 35ºC
pH	6.5 – 8.5

Anaerobic process: DBO removal ≥ 90%; stillage dilution, cooling, pH control (with NaOH) and treatment. Two IC reactors, each with ~1700 m^3 (cylinder, 9.4 m diameter, 24 m height); steel.

Aerobic pos-treatment: aeration tanks; activated slurry with large aeration times.

Two aeration tanks with 5400. m^3 (each), concrete with anti-corrosion protection. The effluent + biological slurry go to a secondary decanter; the slurry is recycled. Excess slurry is concentrated to 20% solids for disposition.

Total construction area: ~6500. m^2

Gas generation: 28 000. m3/ day, 60 – 70% methane

Power utilization: ~520 kW

Annex 6. Aspects of the sugar cane breeding program in Brazil

The material in this section was selected from (Burnquist and Landell 2005).

More than 500 varieties of sugar-cane are grown in Brazil, developed mainly in two genetic improvement programs: CTC (SP varieties; privately owned), and RIDESA (with RB varieties; state owned). Actually Brazil uses two private and two public companies in the genetic improvement of sugar-cane varieties. They keep many experimental stations, a private quarantine facility (processing ~40 new varieties from other countries, every year), three hybridization facilities and germplasm banks.

The census 2003-2004 (260 sugar-cane growing units) indicates that 51 out of the 500 sugar-cane varieties in use have been released over the past ten years, and the 20 most important of them occupy 80 percent of the crop area, while RB 72454, the most widely used, occupies only 12.6 percent. Not only the permanence "cycles" for the best varieties get shorter and shorter, but also these varieties coexist in larger number (Figure A6.1). This great diversification is part of the pest and disease protection strategy.

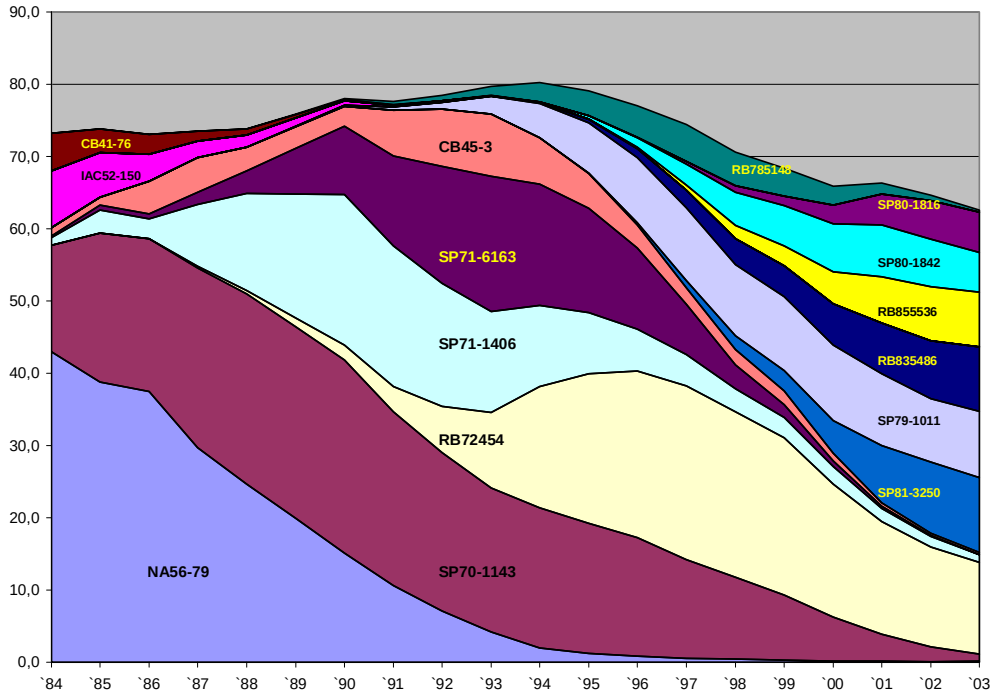


Figure A6.1 Percentage area occupation by the main sugar-cane varieties in Brazil from 1984 to 2003 ((Burnquist and Landell 2005**)**

Annex 7 Emissions of NOx from ethanol – gasoline blends

Limits established for NOx emissions from gasoline automotive engines have changed, as well as for other pollutants. The experience with gasoline ethanol blends (besides the cases mentioned for Califonia and Brazil, Chapter 4.2.3) can be well illustrated by the Japanese studies in 2003 – 2004 (AIST 2005). In 2003, following the NEDO Ethanol Evaluation Program, tests were performed to evaluate blends of 3 and 10% ethanol in gasoline; emissions, materials and drivability were considered. For NOx emissions, tests were performed with:

E3 blends, light vehicles (970 kg, 0.656 l displacement)

E10 blends, small vehicles (1235 kg, 4 cylinder, 1.386 L displacement)

In both cases, the standard emission control system was a 3-way catalytic converter, with O_2 sensor. Two test procedures were used: the 10.15 mode and the 11. mode.

Results are shown in Table A7.1.

Table A7.1 NOx emissions for gasoline – ethanol blends, (AIST 2005).

	Light Vehicle		Small Vehicle	
	10.15 mode NOx, g/km	11. mode NOx, *g/test*	10.15 mode NOx, g/km	11. mode NOx, *g/test*
Limits	0.030	0.550	0.020	0.350
Gasoline (base)	0.004	0.050	0.002	0.011
Blend, E-3	0.005	0.059		
Blend, E-10			0.003	0.010

The main conclusion was that ethanol has a very small influence on the emissions, regarding the established limits. It is seen that the emissions from pure gasoline are ten times smaller than the Japanese specifications; and the increases in NOx (*even if 20 or 50 % higher than for gasoline*) also remain very low as compared to the specifications. This has led to some misunderstang; it is always important to look at the absolute value of the emissions. It is seen that current (2003) technology allows reaching very low NOx emissions from ethanol blends (0.003 – 0.005 g/km, in the 10.15 mode).

The Brazilian emission limits for 2004 – 2012 are specified in (CONAMA 2005); the NOx limit values for light passenger cars are 0.25 g/km (2005) and 0.12 g/km (2009). However, the average values for light, new vehicles (Otto cycle) in 2001 were already 0.14 (gasoline C: 22% ethanol) and 0.08 g/km (ethanol cars).

Looking at the Mexican specifications, the Norma Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003 (7-9-2005) establishes the limits to emissions from automotive engines. It determines the evolution of the limits for NOx considering three standards (A, B, C) according to the vehicle fabrication year, its characteristics (passenger cars, light vans, utility/small trucks) durability standards (80000. and 100 000. km keeping the emission limit). Each manufacturer has to follow the "mix" of standards, changing the vehicle control levels gradually to a more strict specification, as determined in the norm.

The limits for NOx evolve, for passenger cars, from 0.25 g/km (2004) to a long term value of 0.068 g/km; and from 0.68 (2004) to 0.124 g/km, in the long term, for light trucks – class 4.

Bibliography

AIST 2005. S. Goto, H. Shotani, K. Kinoshita, M. Oguma. Evaluation of Biomass Ethanol Application to Automotive Fuel; AIST (National Institute of Advanced Industrial Sciences and Technology), Clean Power System Group; Energy Technology Research Institute, Tsukuba, Japan. Presented to the Brazilian Ethanol Mission, January 2005.

Anderson L. G. 1997. Effects of Using Oxygenated Fuels on CO, Formaldehyde and Acetaldehyde Concentrations in Denver. Air and Wastes Management Association's 90th Annual Meeting and Exhibition, Toronto, Canada

Andersson P. and Victorin K. 1996. Inhalation of Ethanol: Literature Survey and Risk Assessment. IMM- rapport 3/96. Institutet for Miljomedicin (Institute of Environmental Medicine), Karolinska Institute. Stockholm, Sweden.

Apace Research 1998. Intensive Field Trial of Ethanol / Petrol Blends in Vehicles. Apace Research Ltd, EDRC Project 211, Australia.

Armstrong S.R. 1999. Ethanol: brief report on its use in gasoline. Cambridge Environmental Inc. U.S.A.

ANP 2001. Especificações para gasolinas. Portaria ANP 309/2001. Agencia Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro.

APPAMEX 2004. Producción y mercados nacionales de granos y oleaginosas. APPAMEX, IV Foro SIAP-Sagarpa 2004.

Arrigoni E.B. 2005. Agrochemicals (pesticides and others). In: Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

BBI 2005. Feasibilities Study for Ethanol from Maize and Sugarcane. BBI International Consulting, Golden, Colorado. Report to Fundación Emisión, Mexico.

Bioenergéticos 2006. Dictámenes, Comisiones Unidas: Ley de Promicción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Senado de la República, abril 2006. Mexico DF

Burnquist W. and Landel M.G. 2005. Varieties and protection from diseases and pests. In Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Camargo O.A.; et alii. 1987. Aplicação de vinhaça no solo e efeito no teor de nitrogênio, fósforo e enxofre inorgânicos e no de alguns metais pesados. Boletim Técnico IAC **8**; Campinas, São Paulo.

CARB 1999. Air Quality Impacts of the Use of Ethanol in California Reformulated Gasoline. Califórnia Air Resources Board, Sacramento, California.

CARB 2004. California Air Resources Board Data Base. California, U.S.A.

CETESB 1989. Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

CETESB 2003. Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

CETESB 2004. Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

CFDC 1998. Ethyl Tertiary Butyl Ether. in Clean Fuels: paving the way for America´s Future. Clean Fuels Development Coalition, third edition, available in http://www.ethanol-gec.org/clean/cf04.htm

Clay J. 2004. World Agriculture and the Environment. WWF; Island Press, Washington, U.S.A.

CNI 1990. Veículos Automotores, o Proálcool e a Qualidade do Ar. Confederação Nacional da Industria, Rio de Janeiro,Brasil.

CONAMA 2002. RESOLUÇÃO Nº 315; **C**onselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; Programa de Controle de Emissões Veiculares-PROCONVE, 29-10 2002; Brasilia.

COAAZUCAR 2005. Desarrollo Operativo Histórico de Campo Fabrica 1988/2004. Comité de la Agroindustria Azucarera. www.coaazucar.org.mx, consult in May 2006

Cotrim A.M. 2005. The preparation and distribution of ethanol-gasoline blends in Brazil. In Brazilian Technical Mission to Japan, UNICA-COIMEX, São Paulo, Brazil.

DoE 1999. Ethanol for Sustainable Transportation. U.S. Dept. of Energy, U.S.A

Donzelli J.L. 2005a. The use of fertilizers in Brazil's sugar-cane production. In Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Donzelli J.L. 2005b. Erosion in sugar-cane crops: situation and prospects. In Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Drogos D. L. 2000. Santa Clara Valley Water District: Mealey's MTBE Conference. Marina Del Rey, CA, U.S.A.

Eggeman T. and Verser D. 2005. The importance of Utility Systems in Today's and Tomorrow"s Biorefineries. National Renewable Energy Laboratory, Biomass Conference. Golden, CO.

Elia Neto A. 2005. Water withdraw and use in sugar-cane processing. In: Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Elia Neto A. and Nakahodo T. 1995. Caracterização físico-química da vinhaça. Project 9500278, RT da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas, Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba.

El Sayed M.A., Matthews R. and Mortimer N.D. 2005. Production of Ethanol from Sugar Beet (Appendix Q); Carbon and Energy Balance for a range o f Biofuels options, DTI Project B/B6,/00784, URN 03/083, London

EPA 1998. EPA Oxygenates in water: Critical information and research needs; source, transport, transformation, occurrence, exposure, aquatic toxicity, health effects, release prevention, contaminant removal. EPA/600/r98-048

Farrell A E. 2006. Ethanol can contribute to Energy and Environmental Goals. Science **311**.

FAO 2002. FAOSTAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Available at http://apps.fao.org

FAO 2005. FAOSTAT Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Available at http://apps.fao.org

Ferreira E.S. and Monteiro A.O. 1987. Efeitos da aplicação da vinhaça nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, **36**:3-7.

F O Lichts. 2004. World Ethanol and Fuels Report. February 10.

F O Lichts 2005. International Sugar and Sweetener Report. **137:27** September 09.

Fulton L. and Howes T. 2004. Biofuels for Transport: An International Perspective. International Energy Agency / EET; www.iea.org/books.

Fulton L. 2005. Biofuels Markets Around the World: A Long Term View. F. O. Lichts World Biofuels, Seville, Spain

Furey R.L. 1985. Volatility Characteristics of Gasoline-Alcohol and Gasoline-Ether Fuel Blends. SAE Paper 852116, 1985

Goldemberg J. et al 2004. Ethanol learning curve – the Brazilian experience. Biomass and Bioenergy, **26**, 2004

Guedes M., Gomes F.M. and Lepsch A.J. 2005. Fuel ethanol Logistics. In Brazilian Technical Mission to Japan, UNICA-COIMEX, São Paulo, Brazil.

Hamelinck C. N., van Hooijdonk G. and Faaij A.P.C. 2005. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long term. Biomass and Bioenergy **28**: 384-410

Haq Z.and Easterly J. R. 2005. Agricultural Residue Availability in the United States. Oral Presentation 1A-01, 7th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals , Golden, Colorado

IEA 2005. Biogas production and utilization. IEA Bioenergy Task 37- 2005-01. www.novaenergi/iea-bioenergy-task37/index.com

INEGI 2001. Estados Unidos Mexicanos: VIII Censo Ejidal. Mexico D.F.

Joseph Jr. H. 2005. The use of ethanol blends as regular fuel for existing vehicle fleets. In Brazilian Technical Ethanol Mission (Japan). UNICA / COIMEX, São Paulo, Brazil

Kankio 2003. www.kankyo.metro.tokyo.jp/kouhou/english2003/index.html

Koene R. and Puttmann W. 2005. Ersatz von MTBE durch ETBE: Ein Vorteil für den Grundwasserschutz? J. W. Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Atmosphäre und Umwelt; Springer Berlin / Heidelberg, ISSN: 1430-483X

Koizumi E. 2006. Personal communcatiton by Eduardo Y. Koizumi, São Paulo, 2006

Lazcano-Martinez I. 2006a. Feasibility of Biomass Derived Ethanol as a Fuel for Transportation: Task 3, Overview of agricultural aspects; Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME, Inter.-American Development Bank – IBD Technical Cooperation Program. Mexico, D.F.

Lazcano-Martinez I. 2006b. Feasibility of Biomass Derived Ethanol as a Fuel for Transportation: Task 4, Ethanol Feedstocks; Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME, Inter.-American Development Bank – IBD Technical Cooperation Program, México, D.F.

LMC 2004. Global Sugar to 2015. LMC International Report; Oxford, England

LMC 2006. Carbohydrate Raw Materials: Food or Fuel?. Starch and Fermentation, LMC International, February 2006

Macedo I.C 2004. Fatores Para a Competitividade no Mercado Internacional. IV Conferência Internacional da DATAGRO sobre Açúcar e Álcool. S Paulo, Brasil

Macedo I. C. 2005. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. (Editor). UNICA, São Paulo, Brazil.

Macedo I. C.; Leal M. R. and Silva J.R. 2003. Grenhouse gas emissions in the production and use of ethanol in Brazil: present situation (2002). Secretariat of the Environment of the State of São Paulo. 2003

Macedo I. C. and Nogueira, L. A. H. 2005. Biocombustíveis. Cadernos NAE 02-2005, Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica, NAE-SECOM PR, Brasília.

Martinez N. 2006. Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation; Activity 2, Mexico's Energy Picture. Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME. Inter.-American Development Bank – IBD Technical Cooperation Program, Mexico, D.F.

Masera O. 2006. La Bioenergía em México. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Mexico

Masera O. and Prehn M. 2006. Feasibility of Biomass Derived Ethanol as a Fuel for Transportation: Task 1, Panorama económico de Mexico; Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME, Inter.-American Development Bank – IBD Technical Cooperation Program, Mexico, D.F.

MathPro 2005. Cost, Supply and Emissions Impacts of Adopting the CARB 3 Gasoline Standard for Arizona's CBG. Final Report, MathPro Inc. and Meszler Eng. Services, ADEQ Contract EV03- 0021AZ, Task UO5-0056, 2005

Miranda E.E. Dorado A.J. and Assunção J. V. 1994. Doenças respiratórias crônicas em quatro municípios paulistas. Internal Report, ECOFORÇA. Campinas, Brasil.

MME 2005. Brazilian Energy Balance: Executive Summary. Ministério das Minas e Energia (MME). Brasília.

Moraes M.A.F. 2005. Number and quality of jobs in the sugar cane agribusiness. In Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

NEIWPCC 2001. Health, Environmental and economic impacts of adding ethanol to gasoline in the Northeast States; New England Interstate Water Pollution Control Comission (NEIWPCC), and Northeast States for Coordinated Air Use Management. New England, U.S.A.

Nogueira L. A. H. 2006. Actividad 5: Producción y utilización de Etanol e ETBE en México: situación actual y perspectivas futuras. Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation; Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME.

Overend R. P. 2001. Biogas from anaerobic digestion of aqueous streams and landfills (LFG). Workshop Interbio, Petrobrás / CENBIO, Rio de Janeiro, Brasil.

Paes L. A. D. 2005. Emissions Control in Sugar Cane burning. In: Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Paques 2005. Paques Reference System Worldwide; October 2005

Penatti C.P. 1999. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca durante quatro safras. Centro de Tecnologia Copersucar. Relatório Interno Copersucar / Usina São Luiz S.A., Piracicaba, São Paulo.

Poy M.E. 2005 a. Retos y perspectivas de la agroindústria de la caña de azúcar nacional bajo lãs condiciones de transición imperantes. Capacitación para la competitividad em fábricas de azúcar; CIATEC, Querétaro.

Poy M.E. 2005 b. Prospectiva de la competitividad dela producción azucarera em México y alternativas. Foro: La competencia económica del sector agropecuário Mexicano em el ámbito del libre comercio. UNAM, Mexico, D.F.

Ricci Jr A. 2005a. Herbicides and Pesticides. In: Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Ricci Jr A. 2005b. Protection of water sources and streams. In: Macedo I.C. Ed. Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Rodríguez N. 2006. Activity 2. Mexico's Energy Picture. Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation. Project ME-T1007- ATN/DO-9375-ME

SEMARNAT 2006. Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental. Norma Oficial Mexicana NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI. México, D.F.

SENER 2005. Balance Nacional de Energia 2004. Mexico D.F.

Sheehan J. 2000. Feedstock availability and the role of Bioethanol in climate change. 13th International Alcohol FuelsSymposium, Stockholm, Sweden.

Sher E. 1998. Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines. Academic Press, USA

Silva G. H. and Magalhães F.M. 1984. Anaerobic Digestion of Cassava Stillage. Petrobrás – CENPES/SINTEP 690-503. Rio de Janeiro

Smeets E. Faaij A. and Lewandowski I. 2004. A quickscan of global bio-energy potentials to 2050. RIVM Report NWS-E-2004-109, NOVEM, Copernicus Institute. The Netherlands

Souza S.A . 2005a. Advances in the utilization of vinasse. In: Macedo I.C. Ed., Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Souza S.A . 2005b. Availability and use of water in Brazil; irrigation. In: Macedo I.C. Ed., Sugar Cane's Energy: Twelve studies on Brazilian Sugar cane agribusiness and its sustainability. UNICA, São Paulo, Brazil.

Szwarc A. 2005. Use of Ethanol-Gasoline Blends and NO_x Emissions. Internal Report, UNICA. S Paulo, Brasil.

Thompson, R. and Campbell, S. 2005. Preliminary feasibility study of ethanol production from sugar beets in NE Tasmania. RIRDC Publ. 05/12, DPIWE, Tasmania

Trindade S. 1985. Fuel ethanol Issues in Thailand. Report to UN/DTCT, Ref INT-120-4-R30-03-X, July 1985.

UNDP. 2004. World Energy Assessment – WEA. Update. http//www.undp.org/energy/weaover2004.htm

USDA. 2004. Net Energy Balance of Ethanol Production. Ethanol Across America. www.ethanolacrossamerica.net

Walsh M. E. 2000. Biomass Feedstock Availability in the United States: 1999 State level Analysis. ORNL, http//bioenergy.ornl.gov/resorcdata/index.html.

Woods J. 2000. Integrating Sweet Sorghum and Sugarcane for Bioenergy; Modelling the Potential for Electricity and Ethanol Production in Zimbabwe. PhD Thesis, King's College, London.

Woods J. 2001. The potential for energy production with sweet sorghum in Southern Africa. Energy for Sustainable Development vol **V: 1**.

Worldwatch Institute 2006. Biofuels for Transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st. Century. Worldwatch Institute / BMLEV – GTZ – FNR, Washington DC

WWW 2004. Sugar and the Environment. WWF - CABI Biosciences Report

Task 7: Rationales, drivers and barriers for fuel ethanol and ETBE market introduction

Sergio C. Trindade

gtz

Contents

1. Introduction

2. Synergies, Restrictions and Technical Options for Ethanol Fuels in Mexico

3. Mexico's Self-Sufficiency: agriculture versus energy

4. Complexity of Issues Impacting the Market Penetration of Fuel Ethanol and ETBE in Mexico

5. Market Penetration Scenarios for Ethanol and ETBE in Mexico

6. Rationales for an Ethanol and ETBE Program in Mexico

7. Matrix of Rationales, Drivers and Barriers

1. Introduction

This chapter dwells into the rationales, drivers and barriers for fuel ethanol and ETBE market introduction in Mexico. This is also summarized at the end of this chapter and re-examined in the report of Task #8. The chapter begins by analyzing the synergies, the restrictions and the technical options for ethanol fuels in Mexico. It takes a close look at energy and agriculture self-sufficiency in the country. It then examines the complexity of issues in Mexico impacting on the market penetration of fuel ethanol and ETBE. It next reviews the market penetration scenarios for fuel ethanol and ETBE in Mexico, which were developed in Task #2 and modified in Tasks #5 and #6. The chapter concludes with a matrix presentation of rationales, drivers and barriers.

2. Synergies, Restrictions and Technical Options for Ethanol Fuels in Mexico

The introduction of a new fuel, such as fuel ethanol, in any market place, and Mexico is no exception to this rule, is always a complex task. Many interests and constituencies are involved in energy production, transport, storage, distribution and end-use. These stakeholders play a key role in the market penetration process. There are also lead times in any energy transition. Ethanol would face many barriers penetrating the gasoline pool, its natural market. In analyzing the Mexican prospects for fuel ethanol, the general rationale could be summarized as follows:

1. Mexico is by and large a dry country, and thus would have limited opportunities to expand irrigated agriculture for energy purposes.

2. Mexico imports food, thus there are limited prospects to consider corn, wheat and other staples for ethanol making, especially if they are based on irrigated agriculture, for water is an increasingly scarce resource in the country. Although roughly in balance regarding sugar production and consumption, some 2.5% of the domestic demand for sugar is satisfied through imports. Applying these criteria, spent molasses from existing sugar mills and rain fed sugar cane appears to be the best immediate and short term feedstock options, respectively, for ethanol making in Mexico. Furthermore, sugarcane juice based ethanol requires the least area to meet the future demand scenarios; has the highest net energy ratio, and the highest carbon emission mitigation potential of all feedstocks considered.

3. Mexico exports crude oil, but imports some gasoline and MTBE. Thus, if economically competitive, ethanol could save imports and stretch gasoline resources, and postpone the need to invest in additional refining capacity to produce gasoline for the domestic market. An alternative approach would be to produce ethanol for the export market, especially the fast growing USA, particularly California, where Mexico is favorably placed, geographically and trade wise, as a member of NAFTA.

4. The sugar cane economy in Mexico is not healthy due in part to the government legislated and regulated growers/mills social compact. Sugar cane land owners today can receive (with 5 ha) the value equivalent to three minimum wages. In other cultures the situation is different, as

40% of other workers get only one minimum wage. While this compact provides cane growers with a number of benefits, which could be part of a broader social security scheme provided to all workers, it raises the cost of converting sugar cane into sugar and into ethanol

5. A possibly easy introduction of fuel ethanol could be achieved via ethanol made in distilleries to be annexed to sugar mills, provided the opportunity cost for molasses in the international market is not too high and the existing social compact is changed for ethanol making, while it may be kept for sugar making. This would lower the cost of molasses dedicated to ethanol making in Mexico.

6. Expansion of ethanol making in Mexico must depend on rain-fed pasture land or marginal land, and free from the existing sugarcane social compact. The benefits provided by the social compact should be achieved in a way that does not penalize the making of fuel ethanol. One of the major drivers of an ethanol program in Mexico would be the creation of thousands of new rural jobs, permanent, semi-permanent and occasional.

7. Rain fed sugar cane agriculture may suffer occasional crop failures in Mexico. This could be compensated by occasional ethanol imports from world markets, ranging from neighboring countries to remote ones.

8. According to the Mexican Constitution, PEMEX would be the sole buyer of fuel ethanol. Their inconveniences must be minimized, such as changes in refining processes, storage and handling infrastructure, and margins must not be penalized by an occasional higher price of fuel ethanol.

9. PEMEX must make sure the retail network of gas stations is thoroughly inspected and maintained to receive ethanol gasoline blends (no water present in underground tanks prior to adding ethanol gasoline blends). The margins of the retail network must also not be penalized by occasional higher prices of ethanol.

10. The Mexican auto industry must plan assistance to older vehicle owners, with respect to changing materials in the vehicle in contact with the ethanol containing blend.

11. Existing legislation, regulation and specifications need to be acknowledged and adjusted, if required, to the penetration of ethanol gasoline blends. If needed, new legislation, regulation and specifications must be developed and implemented by the appropriate Mexican institutions.

12. Financing the implementation of fuel ethanol in Mexico requires a specific package that is either contained in existing legislation and regulation or need to be complemented by additional measures. Fiscal mechanisms derived from existing legislation and policies need to be acknowledged and adjusted, if required, to allow for the penetration of ethanol blends, without penalizing ethanol producers, PEMEX, retail stations or consumers.

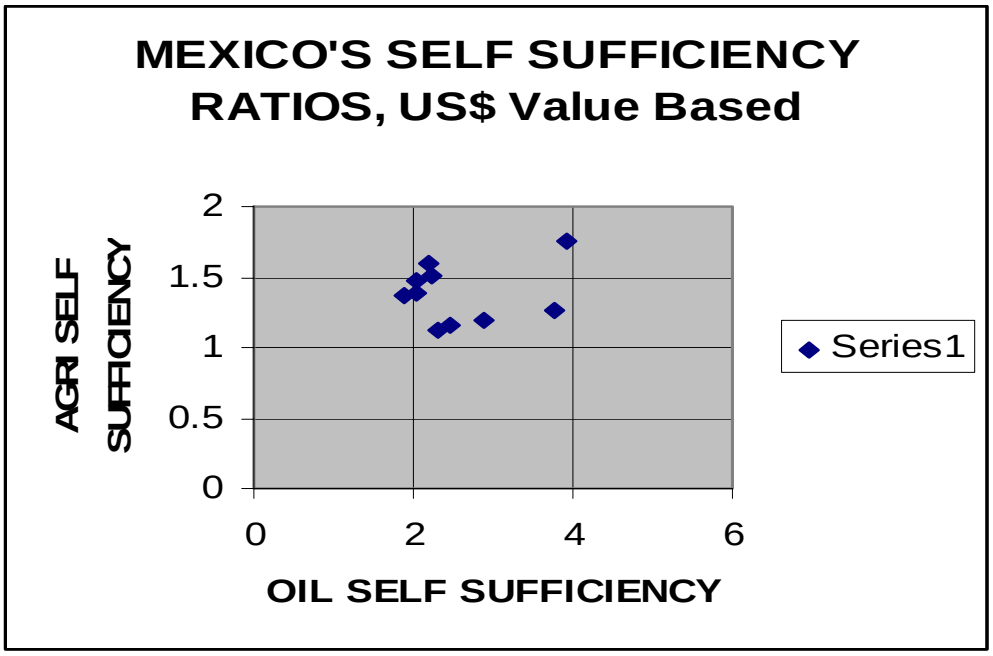
13. Mexican science and technology resources must be engaged to contribute a range of support initiatives from improved cane varieties to fermentation/distillation, and end use in vehicles. There is ample scope for productivity gains along the sugar cane ethanol productive chain. But, for these gains to be realized, a considerable effort in research, development and

demonstration is required. Among them, the reestablishment of a sugar cane variety improvement program is a must.

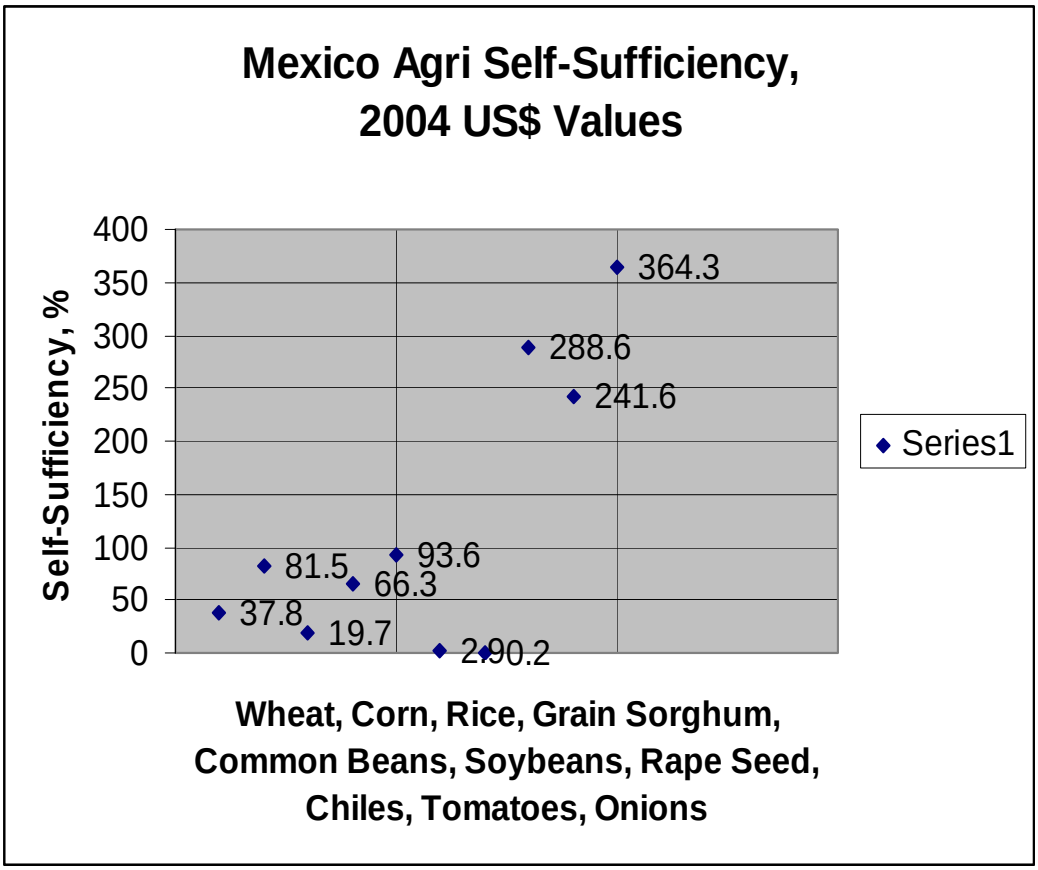
14. Environmental groups need to be involved to help make sure overall environmental impacts are positive. While it is widely accepted that fermentation ethanol contributes to abating global warming, there is a need to achieve the same widespread acceptance of the benefits of ethanol for the local environment, from sugar cane agriculture to end-use.

3. Mexico's Self-Sufficiency: agriculture versus energy

The economic overview contained in Task #1 plots Mexico's petroleum and agricultural exports (Fig. 5.1) and imports (Fig. 5.2) for the period 1996 through 2006. The figures are aggregates and may not reveal the whole truth about the relative self-sufficiency in those two rubrics. The graph below plots the ratio of exports to imports of petroleum and related products and agricultural goods, respectively, expressed in US$. All points lie in the upper right quadrant, the self sufficient quadrant, where there is self sufficiency in both energy and agriculture.



However, closer examination of the structure of the agricultural economy, domestic production, imports and exports, and apparent domestic consumption, shows that with respect to food commodities, Mexico is a net importer of wheat, corn, rice, grain sorghum, ordinary beans, soybeans and rapeseed. On the other hand, Mexico is a net exporter of higher value agricultural goods such as chiles, tomatoes and onions. Data from the report on Task #3 is plotted below. Self-sufficiency is measured as the ratio between domestic production and the apparent consumption (domestic production plus imports minus exports), both expressed in US $.



4. Complexity of Issues Impacting the Market Penetration of Fuel Ethanol and ETBE in Mexico

The complexity of issues impacting the market penetration of fuel ethanol and ETBE in Mexico is illustrated by the uncertainties about fuel ethanol cost, price and availability; legislative and regulatory support; assured market for fuel ethanol; flexibility to play the international market for ethanol; concessionary financing for implementing large scale rain-fed sugar cane agriculture, large scale distilleries, storage, blending and distribution infrastructure, adaptation of older vehicles to using ethanol gasoline blends; environmental impacts and public acceptance. This complexity is further detailed as the profiles of the key stakeholders – further discussed in the report on Task #8 - in the potential Mexican fuel ethanol economy are examined below.

PEMEX would be the sole buyer of fuel ethanol for blending with gasoline in Mexico. Its infrastructure would have to be ready to handle the new blends. This may entail changes in refining processes, to prepare gasoline blend stock for blending with ethanol; finding markets for displaced butanes and pentanes, which are removed to allow ethanol blending, while keeping the vapor pressure of the blend within specification; building and operating additional storage and blending capacity. Also, in the case of Scenario #1 below, PEMEX ter-butyl ether plants would have to be ready to process ethanol into ETBE, which ordinarily would require

changing operational parameters of the existing MTBE plants. Since methanol would no longer be consumed in the MTBE plants, markets would have to be found for it.

The Mexican fuel retail network would have to be technically equipped to handle the new blends containing fuel ethanol. They would need technical assistance from PEMEX to inspect, modify, if warranted, and maintain the fuel station infrastructure, especially underground storage tanks. Financing would be required to implement this revamping program. If the margins of the retail network are affected by selling the new blends, they will become a force of resistance to market penetration of fuel ethanol blends.

If ethanol blends penetrate the market in Mexico, the members of the Mexican Automotive Industry Association - AMIA would need to make sure the vehicles sold would be fit to run on ethanol gasoline blends. The industry and its dealerships would also need to advise the owners of older vehicles on the preparations and costs involved in having their vehicles ready for using ethanol gasoline blends.

Presently, there is a limited production of molasses-base ethanol in Mexico for the potable and industrial market. Mexico is a net importer of ethanol for these same markets. This is possibly due to the high cost of molasses due in part to the existing sugar cane social compact, and to the high opportunity costs of molasses in international markets. According to the report of Task #5, during the period 1988-2004, the ethanol output in Mexico varied between 35 and 70 thousand m^3/a. The installed capacity of the annexed distilleries, which operated in the 2002/2003 harvest, is of the order of 90 thousand m^3/a, while the output was at a level of 40 thousand m^3/a in that harvest year. The total distillation capacity in Mexico is of the order of 170 thousand m^3/a. The anhydrous ethanol capacity resides in two mills in Vera Cruz with a total capacity of 33 thousand m^3/a, some 20% of the total. If the level of perceived risk is lowered, the existing sugar mills could be encouraged to produce anhydrous ethanol, by adding dehydration units and whole distilleries to their mills, as required. This would provide for an early availability of fuel ethanol, which could meet at least part of the requirements of Scenario #1 below. But, the longer term, large scale supply to meet Scenarios #2 and #3 below, would require larger investments in grass roots independent sugar cane juice base ethanol making from new rain-fed sugar cane cultivation in pasture and marginal lands. The uncertainties associated with that approach would have to be mitigated accordingly, lest ethanol blending in Mexico would increasingly depend on imports.

Given that all potential feed stocks for ethanol making – corn, wheat, sugar beets, sweet sorghum, grain sorghum and cassava – other than sugar cane, have been discarded on the basis of being food staples, either net imported and/or requiring irrigation to achieve reasonable yields, and having net energy ratios and carbon emissions worse than sugar cane juice ethanol, and requiring larger cultivation areas to meet the same ethanol demand, the sugar cane growers are the key farmers for a significant fuel ethanol program in Mexico. Following the historical land reform in Mexico and the implementation of the “ejido” system, the sugar cane growers have achieved, over time, a social compact with the mill owners, which provides the growers with benefits not generally enjoyed by other farmers in the country. While this is a positive achievement for the growers, the harvest costs of such a pulverized and uncoordinated system, ends up racking up the cost of sugar cane. Since the cost of ethanol is dominated by the cost of the feed stock, this situation makes ethanol unfeasible in Mexico today. However, Article 27 of the Mexican Cosntitution has been flexibilized to provide for a transition from

social forma of land ownership to private land tenure. Over time, this may provide for more efficient agriculture in Mexico. In the future, molasses based ethanol from existing mills and new large scale sugar cane juice based ethanol from pasture and marginal lands, would require a changes in the social compact applicable to sugar making in order to make fuel ethanol feasible.

The financing organizations, public and private, including specific funds, existing and to be created, would play a significant role in materializing a fuel ethanol program in Mexico. The modifications under discussions in the "Ley Federal de Derechos" could provide a source of funding for the power generation associated with bagasse fueled electricity production. These discussions consider the internalization of externalities associated with energy generation and use, derived from fossil fuels, via levying specific charges. The revenue so generated could fund the incremental cost relative to fossil energy of renewable energies, such as fuel ethanol. The levy would be based on the relative emission of greenhouse gases such as CO_2 by the fossil fuel concerned compared to the renewable energy considered. The concept is similar to the levy on water as the recipient body of waste water discharges. This approach would also help Mexico meet its responsibilities as party to the Climate Convention and the Kyoto Protocol. This initiative could spur the ecological fiscal reform in Mexico, a matter that has been considered by both public and private sectors. There is even a proposal by a federal representative to alter the "Ley Federal de Derechos" to add article 253 B. This proposal specifies the amount of the levies to be applied to the various fossil fuels used in Mexico and describes procedures for paying the levies and destines the revenue to the Department of Energy – SENER, for funding renewable energies.

Nevertheless, a major legal framework affecting the implementation and the funding of fuel ethanol can be found in the "Ley para el Aprovechamento de las Fuentes Renovables de Energía", approved by the Chamber of Deputies and now in the first reading in the Senate. Despite being overwhelmingly focused on power generation, the law makes specific reference to biofuels, ethanol included, and establishes a Biofuels Fund, to compensate for the cost differential between, say, ethanol and gasoline, within a larger "Fideicomiso" managed by SENER. This Biofuels Fund would be funded from a variety of sources and would share 7% of the total resources of the said "Fideicomiso". If there is an issue with this initiative it is that it dilutes biofuels among a large number of renewable energies. In other words, there is no focus on biofuels as such. Given that the potential scale of fuel ethanol in Mexico would be probably much larger than the other renewables, the funding spelled out in the law seems inadequate.

A more central piece of legislation to fuel ethanol is the decree of the "Ley para la Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos", which has been approved by the Chamber of Deputies and by the Chamber of Senators, whioch returned it to the Deputies for reconciliation. As is, the Decree defines a maximum volume content of bio-ethanol for the formulation of gasolines at national level, and requests estimates of the investment required to build up a ethanol production infrastructure, as well as the support needed to consolidate and make feasible this initiative, driven by concerns over the national agricultural development of Mexico.

In addition, there are a number of "Fideicomisos" in Mexico, such as FIRA; the "Fideicomiso de Comercialización" of SAGARPA; FIRCO – Fideicomiso de Riesgo Compartido, dedicated to rural development; FEESA; Promotora Azucarera – PROASA; the FICOs and other

financial institutions, such as Nacional Financiera, Finaciera Rural and others, addressing the productive chains in the sugar cane related industry and rural development that could be mobilized to fund the development of a national fuel ethanol program in the country.

The support or opposition by environmental groups can make it easier or more difficult to implement a fuel ethanol economy in Mexico. Thus, their early engagement in the processes that lead to a national ethanol program seems important.

The influence of organized consumer groups is similar to that of environmental groups, but they are likely to be more concerned with the total cost of operating vehicles, personal and commercial.

As it has happened elsewhere, such as in Brazil and the USA, the development of large scale fuel ethanol generates a learning curve where technological improvements gradually lead to decreasing costs along the productive chain. Thus, the science and technology communities are likely to play a crucial role in supporting the penetration of fuel ethanol in Mexico's economy on a broad range of fronts, from developing the optimum slate of sugar cane varieties for the areas and climates where substrates would be grown to fermentation/distillation/stillage processing to end-use in spark ignition engines (Otto cycle engines). The "Ley para el Aprovechamento de las Fuentes Renovables de Energía", which was anchored on a study by UNAM, contemplates a number of funds within its broad "Fideicomiso" with a strong research, development and demonstration content.

The governments at various levels (federal, state and municipal), different branches (executive, legislative, judiciary) and various capacities (policy, institutional, financial, technological, etc.) have a key role too play to reflect the formal or informal consensus among the key stakeholders mentioned previously. The "Ley para el Aprovechamento de las Fuentes Renovables de Energía" could be an important mechanism for action by governments at all levels to support and promote fuel ethanol. The "Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía", which is the Action Plan of the law, will establish, inter alia, targets for the ethanol content of gasoline marketed in the country. The law says that PEMEX will purchase the ethanol required to satisfy such targets and will blend it into gasoline for markets all over Mexico or for specific regions. The "Ley para la Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos" may reinforce the provisions of the former law in promoting fuel ethanol.

5. Market Penetration Scenarios for Ethanol and ETBE in Mexico

The market penetration scenarios for ethanol and ETBE in Mexico in the time horizon considered for this study was originally developed in Task #2 and adopted in a modified form in Tasks #5 and #6 (with special reference to Scenario No.3).

The scenarios from Task #2 are as follows:

Scenario No.1 (Task #2):
The domestic production of MTBE and TAME would be replaced by ETBE and TAEE, by substituting ethanol for methanol, respectively, in the same PEMEX plants. MTBE imports would continue to satisfy the demand for oxygenated gasolines in the Metropolitan Zones of Guadalajara, Monterrey and Valle de México.

Scenario No. 2 (Task #2):
The use of ethers in formulating gasolines would be discontinued. Ethanol would replace the ethers to formulate the oxygenated gasolines for the Metropolitan Zones.

Scenario No.3 (Task #2):
Ethanol would replace 10% of the volume of gasoline sold in Mexico, except the gasoline volume sold under Scenario No.2, where it would provide a 2.0 % wt/wt oxygen content.

The reports of Tasks #5 and #6 considered the Scenarios developed under Task #2 and defined the Scenarios as follows:

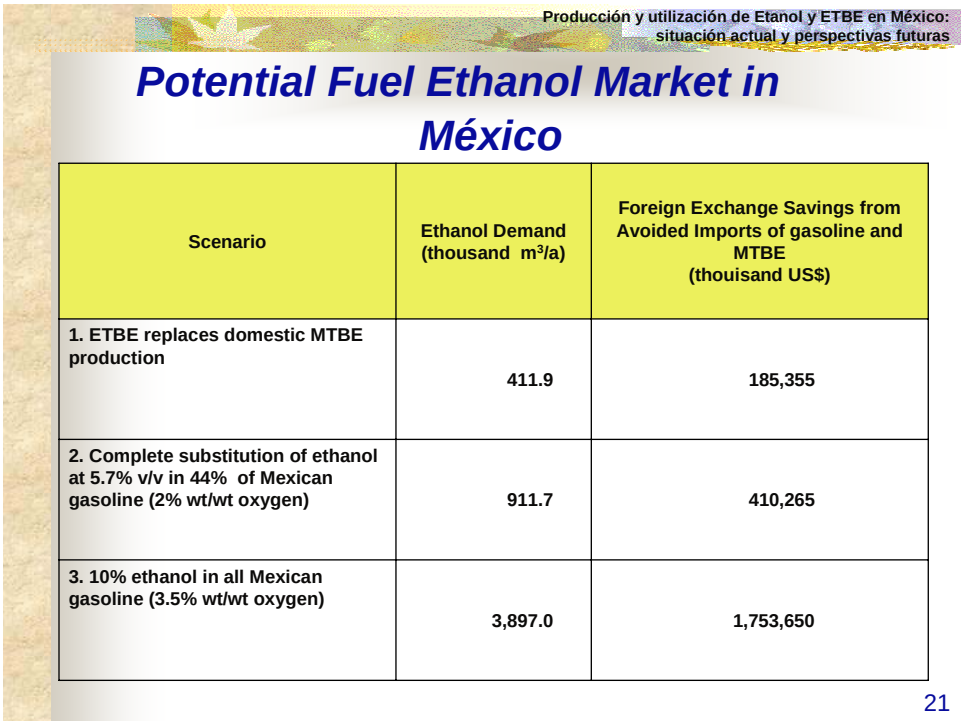
Scenario No.1 (Tasks #5 and #6):
Substitution of ethanol for methanol in the PEMEX ter-butyl ether plants to replace domestic MTBE and TAME by ETBE and TAEE, respectively, while keeping MTBE imports to meet the requirements of the oxygenated gasolines in the Metropolitan Zones of Guadalajara, Monterrey and Valle de México.

Scenario No.2 (Tasks #5 and #6):
The use of ethers in formulating gasolines would be discontinued. Ethanol would replace the ethers to formulate the oxygenated gasolines at a 2% oxygen wt/wt for the Metropolitan Zones.

Scenario No. 3 (Tasks #5 and #6):
Use of a 10% v/v ethanol gasoline blend across the whole country, which corresponds to an oxygen content of 3.5% wt/wt, a concentration commonly found in many fuel ethanol consuming countries around the world.

The major difference between the reports of Task #2 and Tasks #5 and #6 is Scenario No. 3, where the latter reports followed a more ambitious target of achieving 10% ethanol content in all gasolines consumed in Mexico, while Task #2 made an exception for the Metropolitan Zones, where currently there is a legal limit of 2.7% wtwt to the level of oxygen allowed in gasolines for alleged environmental reasons.

The ethanol demand for each scenario can be estimated on the basis of the considerations contained in report of Task #5, as depicted in the graph below:



Scenario	Ethanol Demand (thousand m^3/a)	Foreign Exchange Savings from Avoided Imports of gasoline and MTBE (thouisand US$)
1. ETBE replaces domestic MTBE production	411.9	185,355
2. Complete substitution of ethanol at 5.7% v/v in 44% of Mexican gasoline (2% wt/wt oxygen)	911.7	410,265
3. 10% ethanol in all Mexican gasoline (3.5% wt/wt oxygen)	3,897.0	1,753,650

The gradually increasing ethanol demand, according to the three scenarios, suggests a path over time towards the market penetration of fuel ethanol into the Mexican economy.

6. Rationales for an Ethanol and ETBE Program in Mexico

The drivers and barriers to market penetration of fuel ethanol in the Mexican economy have been presented in the preceding discussion. They are further discussed below and in the report of Task #8, in the context of the analysis of the stakeholders. The following is a review of the rationales for a possible fuel ethanol program in Mexico and borrows from the reports of Tasks #5 and #6.

Economic

Significant foreign exchange savings could be achieved by reducing gasoline and MTBE imports for the 10% ethanol blend of Scenario No. 3. This would lead to savings of up to US$ 1.75 billion (2005) and circa US$ 2.0 billion in 2010.

The report on Task #5 established a reference "value" (parity or indifference cost) for ethanol when substituting for gasoline and MTBE as circa US$ 450/m^3/. The economic analysis contained in the reports of Tasks #5 and #6 revealed that net economic result for fuel ethanol from Mexican raw materials in US$ /m^3, including 28% taxes, is negative for all cases, with ethanol prices at US$ 450 /m^3; it is positive for the "conventional" combinations of biomass/technologies (sugar cane and corn) for ethanol prices between US$ 450/m^3 and US$ 550/m^3. It remains negative for all new technologies, even at US$ 650/m^3 ethanol. The sensitivity analysis shows that for all the conventional technologies (based on sugar cane and

corn) the feedstock cost is the most important; 10% lower cane cost leads to 6% reduction in ethanol cost (4% in corn).

The ethanol costs were based on estimated biomass cost, not price, for Mexico; if the average current corn prices in Mexico were used (US$ 173/t) the cost of ethanol would be 32% higher, at US$ 580/m^3. The same applies to sugar cane; the KARBE price in 2005 (US$ 33/t cane) would lead to an ethanol cost of US$ 590/m^3, or 37% higher. At this stage in the history of fuel ethanol in Mexico, its economic feasibility is marginal.

This is why a package of concessionary finance and mandates, supported by legislation and regulation, are necessary to begin market penetration. As ethanol gains competitiveness in Mexico, these supporting mechanisms can be phased out. This was the case in mature ethanol markets such as in Brazil.

As the scale of the fuel ethanol market expands in Mexico, the learning curve would kick in and provide substantial reductions in cost with the improvements in technology throughout the productive chain. This is what happened in Brazil and the USA and this is likely to happen in Mexico as well.

There is renewed interest in the world in the development of alcoholchemicals, as naphtha prices accompany the high prices trend of crude derived products. Should Mexico become a comeptitive producer of fuel ethanol, it would also open prospects for an alternative to its petrochemical industry, over the years.

Equipment for ethanol production, alcoholchemicals and combined heat and power generation may have a nationalization index of nearly 100 percent in Mexico, creating jobs and strengthening the industry.

Energy

As the crude oil resources of Mexico decline gradually over future years, the country would do well to begin diversifying its energy supplies, improve overall efficiency and manage demand. Recentl legislation - “Ley para el Aprovechamento de las Fuentes Renovables de Energía” - is a step into this direction. And ethanol has a role to play as part of a broad policy to lessen dependence on fossil fuels over the long run.

Blending ethanol requires the gasoline blend stock to be stripped of azeotrope forming hydrocarbons, such as butanes and pentanes that raise the vapor pressure of the blend off specification. These butanes and pentanes may have difficulties finding markets other than lower value petrochemical feeds stocks. Nevertheless, this issue has been dealt with in the past by large countries such as Brazil and the USA, which have adopted fuel ethanol blends.

A fuel ethanol market in Mexico would offer opportunities for promoting regional integration in the context of NAFTA, where both the USA and Canada are adopting fuel ethanol in their pool of transportation fuels. It would also provide for integration with the Central American countries pursuing fuel ethanol programs.

Institutional

Implementation of a large scale fuel ethanol program in Mexico requires substantial institutional capacity to implement legislation and regulation set up by the Mexican Congress and the Mexican Government, respectively. The implementation of the "Ley para el Aprovechamento de las Fuentes Renovables de Energía" will be very demanding on Mexican institutional resources. This could be compounded by the requirements of the "Ley para la Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos". A number of government bodies are likely to be involved requiring coordination and implementing capacity. At the same time, Mexican society has been able over history to respond to new challenges and should be able to mobilize itself to address the issue of fuel ethanol, in the broader context of renewable energies.

Among the valuable resources of Mexican society are its scientific and technological public and private institutions. A report by UNAM was the launching platform of the "Ley para el Aprovechamento de las Fuentes Renovables de Energía". These institutions will have their work cut out for them as the pressure of cost cutting ethanol making will require mobilization of expertise and innovation ranging from developing adequate sugar cane varieties for rain fed pasture and marginal lands all the way to the end-use of fuel ethanol. The Renewable Energies law acknowledges the role of science and technology in the market penetration of such energies in Mexico and creates specific funds to promote technological innovation, including for biofuels, ethanol included.

Legal and Regulatory

A national fuel ethanol program in Mexico would require a host of policies, translated into legislation and regulation aimed at reducing the risk of potential investors; ensuring a steady supply of fuel ethanol to markets; creating rural jobs; saving foreign exchange; diminishing dependence on fossil fuels; promoting environmental quality; developing the capital goods industry; mobilizing scientific and technological resources; and providing financing along the productive chain.

The Mexican Renewable Energies law is certainly a crucial step in the direction of achieving the objectives enunciated above. The "Ley para la Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos" would reinforce this move. Further legislation and regulations may be required to expedite market penetration of fuel ethanol. In this connection, presidential leadership is certainly welcome as it helps mobilize resources and wills.

But, in the end, no legislation or regulation will work, if it does not enjoy the consensus support of the key stakeholders in Mexico's fuel ethanol economy.

Social

It is difficult to foresee the structure of ethanol production in Mexico in the future. Possibly two systems will coexist. One would be similar to today's situation, that is, large number of land owners, small areas, some based on cooperatives. The other system would be based on much larger holdings. Suitable structures (for both systems) will lead to differences in job creation. Reaching 10% ethanol in all gasoline (Scenario No. 3) would lead to doubling the jobs in sugar cane agro-industry. New production structures (larger areas, mechanization and

automation) would lead to lower figures. Nevertheless, job creation (at relatively low investment) could be one of the most important social contributions of the program.

If priority is given to large scale sugar cane expansion in pasture and marginal lands, regional development in new areas would take place, creating jobs and promoting social infrastructures where few existed before.

Reviewing and revising creatively the existing social compact between sugar cane growers and mills may offer an opportunity to maintain for the current beneficiaries and to expand social benefits for the rural workers not enjoying them presently. It is not a trivial assignment. It requires ingenuity and creativity, but without progress in this area the social cost of fuel ethanol in Mexico may be too large for the key stakeholders to achieve a consensus in support of an ethanol program in the country.

Environmental

Sugar cane based ethanol is far superior to other feed stocks in terms of net energy ratio. Sugarcane, in contrast with corn and other feed stocks, generates its own process fuel – the bagasse. If expertly designed a distillery (and sugar mill) can supply all its energy requirements and export surplus electricity. This translates into the highest CO_2 mitigation values among competing feed stocks. Hence, sugar cane ethanol may give a substantial contribution for reducing greenhouse gas emissions.

Crop wastes such as leaves and trash can also be added to bagasse to generate even more surplus energy. The main liquid waste from ethanol distilleries – stillage or vinasse – can be a source of fertilization-irrigation for its potassium content and degree of dilution. Sugar cane land is usually rotated with nitrogen fixing plants such as peanuts, which enriches and preserves soil quality.

When used as a fuel, ethanol requires the gasoline blend stock to be free of light hydrocarbons, to keep vapor pressure of the blend within specification and limit evaporative losses of volatile organic compounds. Burning ethanol in a gasoline blend decreases the emissions of CO and unburned hydrocarbons due to fuller combustion. It may or may not increase NO_x emissions. Nevertheless, the NO_x emission levels in California after the adoption of 5.7% v/v ethanol blends has <u>not</u> increased. Aldehyde emissions do increase, especially of the less harmful acetaldehyde, but the emission level is well under the limits established by the World Health Organization.

Food security

The development of sugar cane agriculture geared towards ethanol is likely to improve the competitiveness of sugar making in Mexico and allow it to penetrate the US market, which will open to Mexican sugar by 2008. In time, it may also help Mexico fight off the fructose invasion from the US. It may also have a positive impact in Mexican agriculture in general, improving food security.

The adoption of sugar cane juice as the major source of fuel ethanol in Mexico leads to the lowest area requirements of all other alternative feed stocks. Regarding food security, this is a

positive trait of sugar cane for it would limit the land competition between food and fuel crops.

The foreign exchange savings derived from the potential Mexican fuel ethanol industry added to carbon credit revenue in the future will further strengthen food security in Mexico as it provides foreign exchange for occasional food imports, if warranted.

7. Matrix of Rationales, Drivers and Barriers

Rationale	Drivers	Barriers
Economic	Foreign exchange savings	Ether making interests
	Achieve competitive ethanol	High sugar cane costs
	Learning curve	Lack of scale
	Ethanol chemicals	Petrochemical interests
	Capital goods industry opportunities	Investment uncertainties
Energy	Dwindling oil resources	Oil industry interests
	Energy diversification	Refining process changes
	Regional energy integration	Integration resistance
Institutional	Implementing Renewables Law	Lack of focus on biofuels
	Implementing Biofuels Law	Inter-secretariat coordination
	Presidential leadership	Stakeholder consensus absent
	Science/technology opportunities	Market disconnect
Legal & Regulatory	Renewable Energies Law	Lack of focus on biofuels
	Biofuels Law	Inter-secretariat coordination
	Presidential leadership	Stakeholder consensus absent
Social	Job creation	Sugar cane social contract
	Revision sugar cane social contract	Current land tenure pattern
	Expanding rural social infrastructure	Investment uncertainties
Environmental	GHG mitigation	Inadequate investment in sugar cane energy mgt
	Carbon credit revenues	
	Stillage recycle	Inadequate water mgt
	Soil quality maintenance	Lack of technology transfer
	Air quality improvement	Misleading information
Food Security	Increased sugar competitiveness	US fructose invasion
	Improved agri-practices generally	US protectionism
	Minimum area required by sugar cane juice	Sugar cane social contract

Task 8: Synthesis and recommendations

Sergio C. Trindade

gtz

Summary for Policy Makers

This report contains a comprehensive analysis of the prospects of bioethanol as a fuel for transportation in Mexico. It was sponsored by the Inter-American Development Bank under project "Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation (Project ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME)" and coordinated by SENER. A parallel study on biodiesel, sponsored by GTZ and coordinated by SENER, was carried out separately and is not reported here. This bioethanol study engaged both Mexican and international consultants in a number of Tasks. They covered the key issues for fuel ethanol in Mexico: the economy; energy picture, especially the oil industry; agriculture; biomass feed stocks for ethanol production; economic assessment of the production and use of ethanol; sustainability of ethanol and rationales, drivers and barriers to the penetration of fuel ethanol into Mexico's economy.

Essentially, the overall conclusion is that there is a limited, but important, opportunity for Mexico to embark on a gradual fuel ethanol program. Thus, fuel ethanol, initially based on sugar cane molasses and from ethanol making projects currently under consideration from other feed stocks, such as maize, would replace methanol in domestically produced ethers (MTBE and TAME) to make ETBE, before 2012. Ethanol as a component of domestically produced ETBE, would correspond to a 5.7% volume ethanol penetration in a fraction of the gasolines that are currently being blended with domestic MTBE and TAME, that is, those supplied to the Metropolitan Zones. By 2012, and based on sugar cane juice ethanol from new rain fed cultivation in pasture and marginal lands, and on ethanol making projects that might be developed from other feed stocks, replacement of 5.7 % of all gasolines in Metropolitan areas would take place. In the long run, and based on sugar cane and possibly other feed stocks, such as multiple annual crop sweet sorghum, or maize, 10 % of all gasoline in Mexico could be replaced by ethanol, from 2012 onwards. Throughout these developments, there might be opportunities for exports and imports of fuel ethanol, directly or as ETBE.

The size that a gradual fuel ethanol program could achieve in Mexico and the foreign exchange savings that could be obtained is suggested below, with values based on estimates for 2010:

Scenario	Fuel ethanol demand thousand m^3/a)	Foreign exchange savings from displacing imports of gasoline and MTBE(thousand US$)
Prior to 2012: #1. Domestic MTBE replaced by ETBE	411.9	185,355
By 2012: #2. Total replacement of ethers by ethanol at 5.7% v/v	1,110.6	499,500
From 2012 onwards: #3b. Ethanol 10% v/v blend becomes standard gasolines in Mexico	4,406.3	1,982,835

In launching, the fuel ethanol program in Mexico from the existing sugar cane molasses production capacity to satisfy Scenario # 1 above, that is, 412 thousand m^3/a, no additional cultivated area would be required. Ethanol projects currently under planning and implementation from other feed stocks, such as maize, could lessen the demand on molasses as the sole source of ethanol in the short term. There would be a small expansion of jobs in distilleries. Two to four dehydration plants to make anhydrous ethanol from the present capacity of hydrous ethanol production and some 10 new annexed distilleries would be built to process the molasses of those mills that currently do not possess fermentation and distillation capacity. To achieve this target an investment of about US$ 160 million would be needed over the next few years.

The specific details of the next two stages of implementation, corresponding to Scenarios #2 and #3b would depend on the choice of feed stocks. But, assuming the dominant feed stock to be sugar cane juice, achieving a 10% fuel ethanol blend all over Mexico would double the present number of jobs in the industry, with the addition of some 400 thousand new jobs. The area needed would reach some 800 thousand hectares, more than doubling the current area under sugar cane in Mexico. It is worth noting that, within the limits of the proposed Scenarios, the land requirements can be met apparently without compromising food production. The investment in the 45 sugar cane juice independent distilleries would require US$ 2.25 billion distributed over a number of years and going beyond 2012.

Mexico would benefit from introducing fuel ethanol in many ways: job creation; rural economy development; expansion of social infrastructures in rural areas; improvement in energy security; petroleum resource conservation; better water management; expanding agriculture into drier lands by cultivating resilient crops, such as multiple annual crops sweet sorghum; foreign exchange savings; motivating the science and technology community; incentives to the capital goods industry; local and global environment enhancement.

Mexican federal legislatures have almost concluded work on two pieces of legislation that are central to the implementation of fuel ethanol in the country. These are the Law on Renewables and the Law on Bioenergy. Nevertheless, understanding the rationales, drivers and barriers as well as the motivations of the key fuel ethanol stakeholders will help build up the consensus that will make it possible to move fuel ethanol into the market place in Mexico, within the legal framework created by the laws and regulations on the matter. Based on this platform, political leadership, presidential and congressional, could make a difference in expediting the transition toward the limited, albeit important, role of fuel ethanol in the future of Mexico.

Such political leadership would be needed to address, inter alia, a major issue: the existing social compact between sugar cane growers and mills. This process may offer an opportunity to maintain for the current beneficiaries and to expand social benefits for the rural workers not enjoying them presently. It is not a trivial task. It requires ingenuity and creativity, but unless progress in this area the cost of fuel ethanol in Mexico may be too large for the key stakeholders to achieve a consensus in support of an ethanol program in the country.

The Mexican Economy

The Mexican economy is strongly dependent on the oil and gas resources and remittances from Mexican expatriates (2.3 % of the GDP in 2005). It depends importantly on the state of the US economy to which 90% of Mexican exports are destined (Masera and Prehn, 2006) and from which it receives the bulk of the foreign direct investment. The deficits in the current accounts have been amply covered by the surplus in capital account and remittances. The economy has become more open and vulnerable, especially since the signing of NAFTA. There is a consensus that Mexico needs to diversify production and exports, including in agriculture.

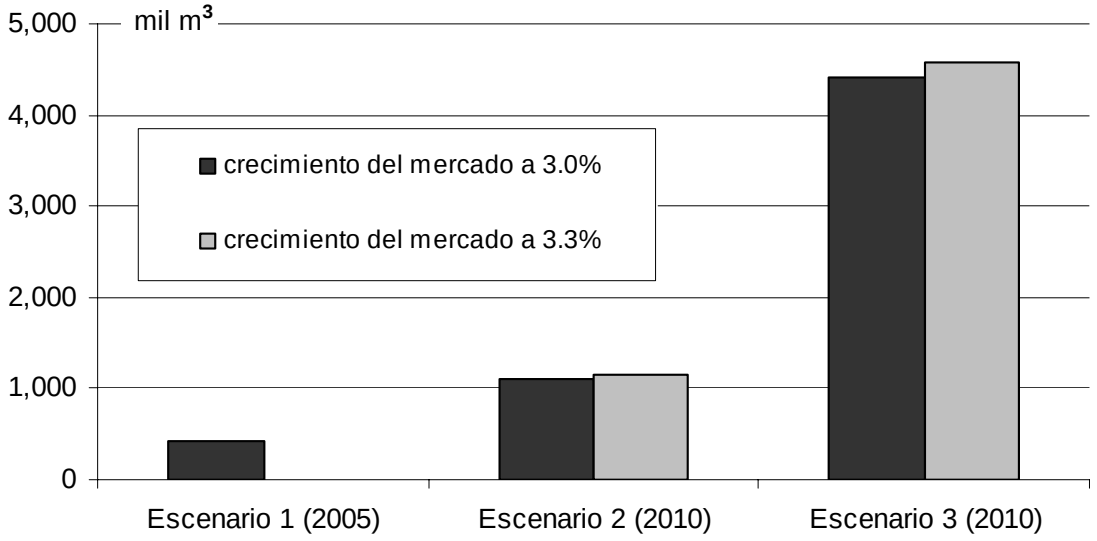
Reducing gasoline and MTBE imports for a scenario where all gasolines in Mexico are 10% ethanol blends would lead to savings of up to US$ 2.0 billion in foreign exchange in 2010. Sales of carbon credits via CDM projects could potentially add to this benefit.

Equipment for ethanol production and combined heat and power generation, in the case of sugar cane bagasse, may have a nationalization index of nearly 100 percent in Mexico, creating quality jobs and strengthening the industry.

Mexican Oil Scene and the Ethanol Scenarios

While the country is a net exporter of crude, it imports gasoline and MTBE. Three ethanol market scenarios were developed to serve as a basis for economic and sustainability analysis. Scenario #1 considered using ethanol to replace methanol in domestic MTBE and TAME production to make ETBE in existing ether plants. Scenario #2 postulated the total phase out of the use of ethers as gasoline oxygenates and their replacement with fuel ethanol at a 5.7% v/v to maintain a 2.0 % wt/wt oxygen concentration in oxygenated gasoline in Mexico. Scenario #3b was simplified from an initial formulation (Rodriguez, 2006) to consider all gasoline in Mexico to contain 10% ethanol v/v. This would be equivalent to 3.5% oxygen wt/wt content in gasolines in the Metropolitan areas, which may require a revision of the current Norm (NOM-086 NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005).

The findings in Annex I in the report of Task#7 suggest that the 2.0% oxygen limit (by weight) needs to be revisited The graph below depicts the ethanol demand from the three scenarios under two gasoline demand growth rates (3% and 3.3% per annum). Mexico is currently an importer of ethanol for potable and industrial uses. It has produced some 40 thousand m^3/a, and has an installed capacity four times larger. Consequently, the implementation of a large scale fuel ethanol industry in Mexico, in addition to saving on petroleum products imports, would permit the country to save on ethanol imports and may generate opportunities for export.



Agriculture in Mexico

Agricultural productivity has increased in Mexico lately, but there is room for further improvement, freeing more area to cultivation. Irrigation, if and when possible, would play an important role in productivity growth. But, although the agricultural economy has been progressing steadily, Mexico is a net importer of staple foods. Changes will continue, and their influence in any agricultural program must be factored in. In recent years, Mexican agriculture has become more open and more market-oriented.

Agriculture uses some 16% of the area of the country, or 30 million ha. In 2003 the total cultivated area was 21.8 million ha (16.7 rain fed and 5 irrigated). Pasture land covers a similar area (27.7 million ha), and in some regions (South-Southeast) it could be partially used for energy crops (Lazcano, 2006a). The self-sufficiency in food production, though not an objective per se, would need an additional 5 million ha to the 21.8 million ha used in 2003, at today's productivities. Land tenure, which had been ruled by Article 27 of the Constitution, is evolving slowly since 1992, from social ownership towards private ownership.

Agriculture in Mexico poses special economic challenges with strong social implications. For example, today the Mexican sugar industry cannot compete with imported maize-based fructose. Export prices for sugar are lower than allowed by the KARBE price paid for sugar cane (Lazcano, 2006b). These issues arise from the small scale cane production and the KARBE price setting system that does not adequately integrate the mutual interests of cane growers and mill owners. Conceptually speaking, sugar cane production and processing offer opportunities for new markets, higher efficiencies and lower costs, but the social compact ruling the industry requires review and revision.

In this connection, the Brazilian experience in the State of São Paulo might be of interest. The agreement reached between growers and producers, in bilateral negotiations without government intervention, is based on a parametric model that integrates the mutual interests of

the two sides. It is described in Annex III. Opportunities, such as diversification to ethanol (and electricity co-generation) may be help strengthen the whole sugar cane agro-industry.

Nature in Mexico is such that 61 percent of the land area is considered dry (45 percent with a severe humidity deficit), with arid or semi-arid climate. Water, an increasingly scarce resource in view of the expanding demands from a growing population, needs to be wisely managed and serve the needs of food crops first. Thus, the development of fuel ethanol feed stocks that are resilient and less water demanding, such as could be the case of multiple annual crops sweet sorghum, should be in the forefront of research in support of fuel ethanol in Mexico.

Ethanol Feed Stocks in Mexico

Sugar cane, maize, yuca, sorghum and sugar beet were considered for conversion into fuel ethanol, with existing mature technologies and in the case of sugar cane, a speculative consideration of the technology of making additional fuel ethanol from bagasse was analyzed. The short listed feed stocks for ethanol making were sugar cane and maize. The selection criteria used were: availability of mature technology, costs, investment requirements, area needed, energy ratio and GHG emissions and mitigation.

On the one hand, the annual yields considered for maize, at 10 t/ha, would require irrigation and other inputs to bring productivity way up from the current national average of 2.8 t/ha (Lazcano, 2006b). On the other hand, annual sugar cane yields were taken at 61 t/ha, which is lower than the national average of 71 t/ha, taking into account that pasture and marginal lands, and rain fed agriculture were considered. Furthermore, the energy requirements of sugar cane based ethanol could be more than entirely met by the bagasse, whereas maize would need external energy inputs. As a result, also from the point of view of greenhouse gas emissions, sugar cane ethanol would be also superior to maize derived ethanol.

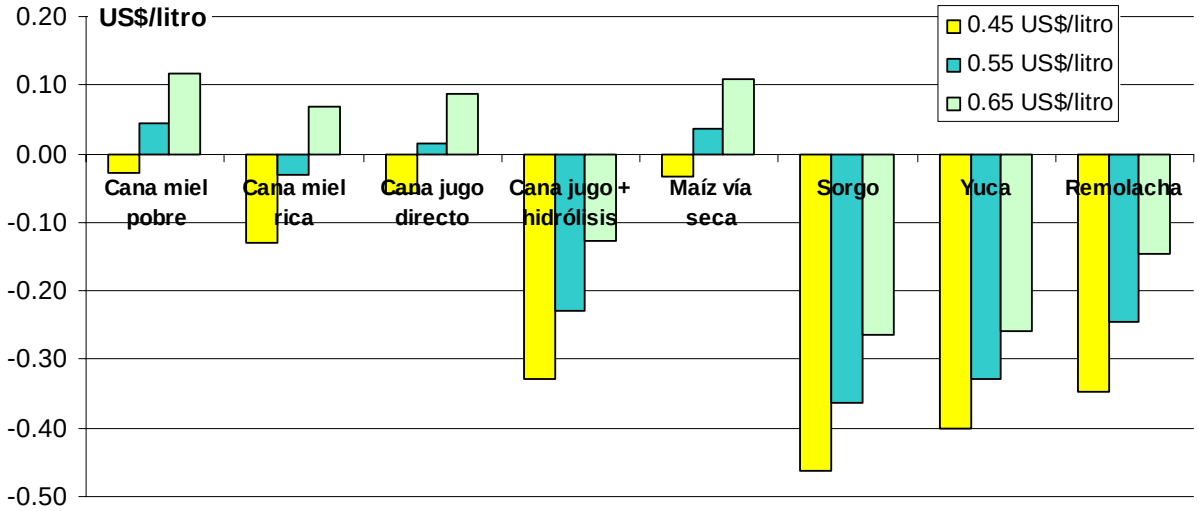
The energy ratio (energy output/fossil energy inputs) for sugar cane ethanol is of the order of 10, whereas for maize it is at the level of 1.3. For ethanol replacing 10% gasoline, if based on sugar cane, it would also have a surplus of 1.8% of electricity and require only 1% of external fossil inputs (diesel, natural gas and/or fuel oil) with respect to the process energy requirements. For maize, 10% gasoline would be saved, but external fossil inputs would amount to 7.8% (Macedo, 2006).

Regarding GHG emissions and mitigation, on a life-cycle basis, for Scenario #3, the comparative results are (Macedo, 2006): sugar cane ethanol (430 kg CO_2 eq/m^3 emissions and 10.6 million t CO_2 eq /a mitigated) and maize ethanol (1,800 kg CO_2 eq /m^3 emissions and 3.9 million t CO_2 eq /a mitigated).

Thus, sugar cane appears to be the best candidate to kick off the penetration of fuel ethanol into the market in Mexico. Nevertheless, over time maize and other feed stocks are likely to have a role to play as the demand for ethanol expands. Of particular interest, but requiring extensive research, is the prospect of a drought-tolerant, multiple annual crop sweet sorghum.

Technology and Economics of Fuel Ethanol in Mexico

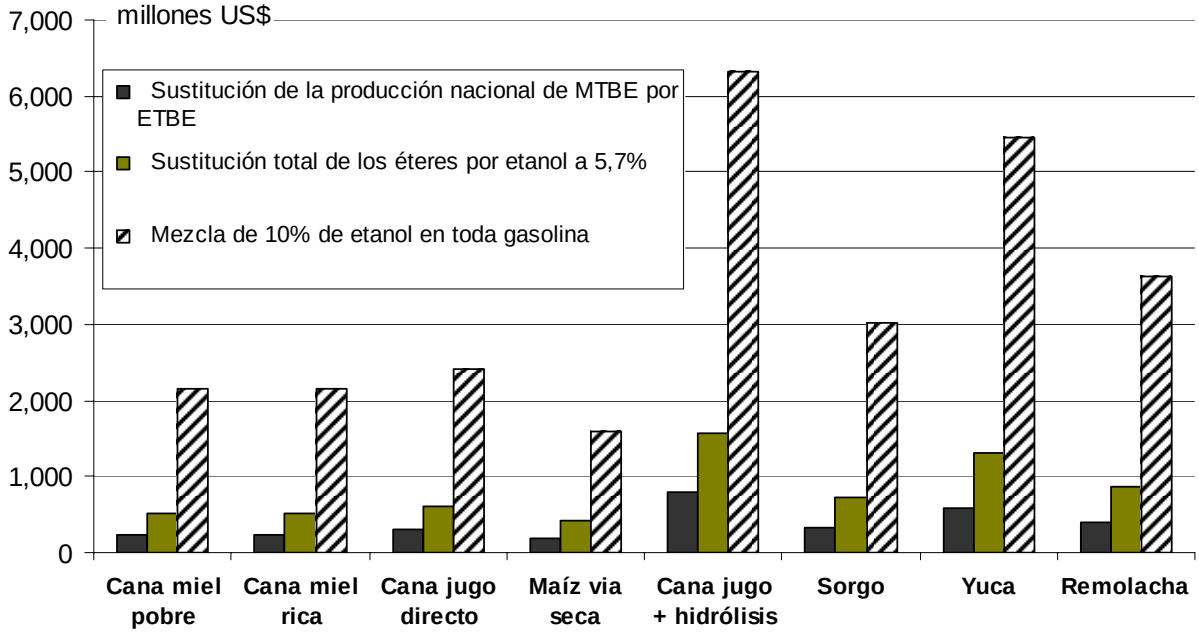
Economic analysis revealed that under the conditions considered, especially feed stocks valued at cost, not actual price, sugar cane based ethanol yields an economic return similar to that of maize ethanol, even though the latter benefits from byproducts revenues, such as from DDGS, and assumes much higher yields than the national average. This analysis, expressed as total net benefit in US$ / l, is presented graphically below (Nogueira, 2006). The discount rate was taken at 12% per annum and the distillery economic life was assumed at 10 years, annual depreciation at 10% and a tax rate of 28% on the gross margin. For maize, and other feed stocks that need external energy inputs, electricity and natural gas were estimated at 150 US$/MWH and 5.50 US$/MJ, respectively. Three ethanol selling prices were considered, all in US$/$m^3$: 450, 550 and 650. The first two prices are the extremes of the range of parity or indifference values of ethanol in relation to gasoline/MTBE or sugar, respectively. The third and highest price reflects the US high market prices during April-June 2006. This highest price could also be seen as a value that would capture some of the externalities generated by fuel ethanol, which could justify a subsidy. Again, these results were obtained for feed stocks costs, not prices. Only one annual crop was considered for sorghum.



Obviously, at ongoing opportunity prices, the economics of fuel ethanol making in Mexico is marginal. The net economic result (US$ / l) is negative for all cases, with ethanol prices at US$ 0.45 / l. It is positive for sugar cane and maize for ethanol prices in the range of US$ 0.55-0.65 / l. It remains negative for all new technologies and unconventional feed stocks, even at US$ 0.65 / l ethanol! The sensitivity analysis shows that, for all sugar cane and maize based ethanol using conventional technology, the cost of feed stock is the most important cost item. For 10% lower cane cost, ethanol cost is reduced by 6% and, correspondingly, for maize the cost drop is 4%. If the average current maize prices in Mexico were used (US$ 173/t), the cost of ethanol would be 32% higher, at US$ 0.58/l. Similarly, for sugar cane, the KARBE price in 2005 (US$ 33/t cane) would lead to an ethanol price of US$ 0.59/l , or 37% higher (Nogueira, 2006) .

The total country wide industrial conversion investment requirements for the various feed stocks and demand scenarios considered is shown in the graph below (Nogueira, 2006). Dry

milled maize processed into ethanol requires the lowest investment, followed by the three sugar cane based ethanol processes. The estimate for sorghum considered only one annual crop. No agricultural investments were estimated for the development of the incremental feed stock production required to satisfy the three scenarios considered.

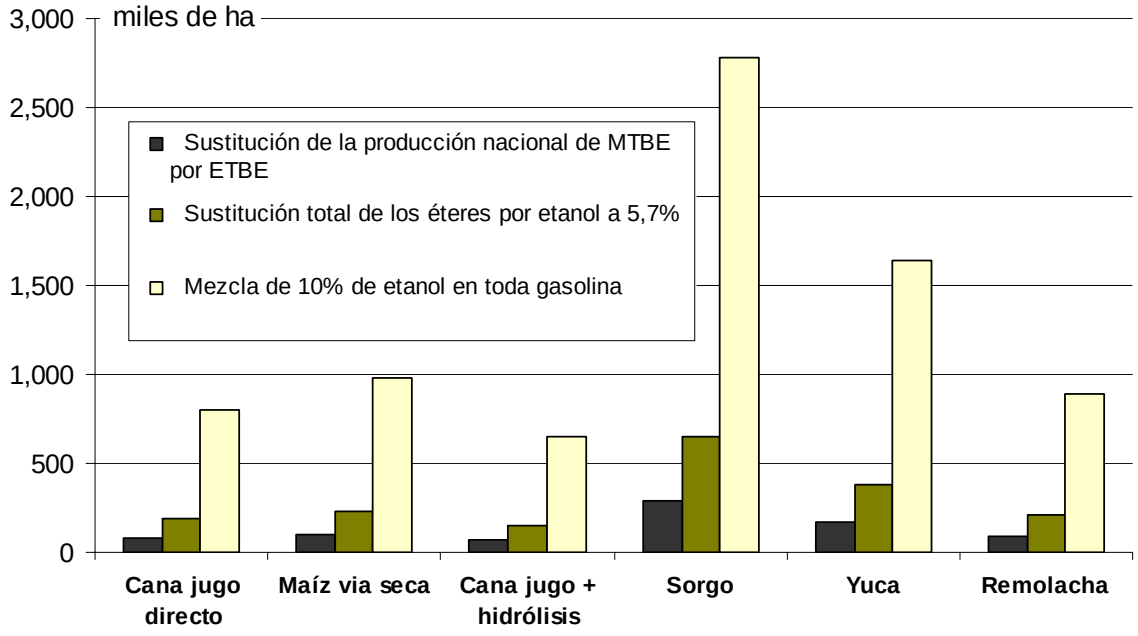


In practice, over time, the supply of ethanol in Mexico would come from a combination of feed stocks. Thus, the total country investment to meet the demand of Scenario # 3b would hover around US $ 2 billion.

The table below shows the number of units that would be required to satisfy the demand of the three scenarios with sugar cane and maize feed stocks. Since maize based ethanol can run all year long, it requires the least number of units compared to sugarcane. Again, since in practice there would be a combination of feed stocks and processes to the meet demand, the number of units required to meet, say Scenario # 3b, would reside in the range of 26-48 units.

Feed stock and technology	**Spent sugar cane molasses**	**Fat sugar cane molasses**	**Direct sugar cane juice**	**Dry milled maize**
Unit Capacity (m^3/d)	150	150	450	500
Industrial conversion investment per unit (thousand US$)	15,000	15,000	50,000	61,000
Annual production per unit (m^3/a)	27,090	27,090	81,270	150,500
Scenario	Number of Units			
#1. Domestic MTBE replaced by ETBE	16	16	6	3
#2. Total replacement of ethers by ethanol at 5.7% v/v	34	34	12	7
#3b. Ethanol 10% v/v blend becomes the standard gasoline in Mexico	144	144	48	26

The area requirement to meet the demand stipulated by the three Scenarios is depicted below for the various feed stocks (Nogueira, 2006). Obviously, in the case of Scenario # 1, the molasses based ethanol would not require any additional area, since the feed stock would be a by product of existing sugar mills supplied by currently planted sugar cane. Direct fermentation of sugar cane juice would require the least area among all the feed stock alternatives. The area for dry milled maize ethanol would be 3.6 times larger, if the average annual yields of 2.8 t/ha were used instead of the modeled 10 t/ha. If the entire ethanol demand under Scenario # 3b would be satisfied solely by direct sugar cane juice, the area under sugar cane cultivation in Mexico would approximately double. It is worth noting that, within the limits of the proposed Scenarios, the land requirements can be met apparently without compromising food production.



Sustainability of Fuel Ethanol in Mexico

Fuel ethanol could be sustainable in Mexico, according to the three dimensions of sustainability: economic, social and environmental. The economic dimension has been covered in the preceding sections. The environmental dimension has been partially covered, with respect to energy ratios and GHG emissions and mitigation. Additional analysis on the environmental and social dimensions follows.

Irrigation is a key issue, especially in Mexico - a humidity deprived country. Irrigation impacts the water supply, and may lead to soil erosion, salinity, and to underground and surface water contamination. Rain fed agricultural expansion will imply using anthropized and to some extent degraded lands, in culture substitution or in habitat loss. Lower water demanding sweet sorghum in dry lands is an alternative that needs to be researched under Mexican conditions. For some crops, such as sugar cane, the use of stillage, the liquid residue from ethanol distillation, for ferti-irrigation can reduce net fertilizer input (mostly potassium) and supply water in selected areas. As a reference, in Brazil, in sugar cane processing, the average water withdrawal from the sources (rivers, lakes, underground water) 1.8 m^3/t cane, but much improvement can still be achieved (Macedo, 2006).

As previously mentioned, the production and use of bioethanol (and co-generated electricity) can result in positive environmental impacts. It can save fossil fuels, and the corresponding GHG emissions. Ethanol use in blends with gasoline (and incorporated into ETBE) reduces emissions of controlled substances such as carbon monoxide and unburned hydrocarbons. On the other hand, the possibility of and consequences from leakage and contamination of groundwater, especially of ETBE, must be considered.

The job impact of fuel ethanol in Mexico for a nationwide 10% ethanol blend would be to double the number of jobs in the sugar cane agro-industry in areas not now under sugar cane cultivation adding approximately 400 thousand jobs. Alternatively, if ethanol would be entirely produced from maize, a 10 % ethanol blend would result in an increase of 45% in the jobs in the maize economy. New production technologies encompassing larger areas, mechanization and automation, would lead to lower job creation. Nevertheless, expanding the job market at relatively low investment could be one of the most important social contributions of an ethanol program in Mexico (Macedo, 2006).

The ongoing transition in the Mexican agriculture makes it difficult to estimate with precision the number of farmers engaged in agriculture today (Lazcano, 2006a). The expected buying of land in large scale by the sugar mill owners, after the 1992 reform, did not happen. Sugar cane land owners today can receive (with 5 ha) the value equivalent to three minimum wages (against one, for 40% of all the other workers). In other cultures the situation is different, as in Mexico, sugar cane has a specific social compact based on laws and regulations.

Projections based on the XII Censo General de Población y Vivienda 2000, suggests for 2005 that some 25 million people live in rural areas. There are 3.77 million production units, with approximately 10.8 million workers. For maize, approximately 3.1 million producers are involved, out of a total of 5.4 million in agriculture and cattle husbandry (Macedo, 2006). It is estimated that about 150 thousand people are sugar cane growers in Mexico. However more people are engaged in production, making up a total of 400 thousand direct jobs in agriculture and industrial conversion to sugar.

As a reference, in Brazil the sugar cane industry has shown a great flexibility in the number of jobs created/unit production. In areas with large manpower available and comparatively lower incomes (Northeast Brazil) agricultural mechanization and industrial automation are limited, and jobs/unit production may be up to 3 times larger than in regions where manpower is more difficult to find, and wages are higher (Southeast Brazil). In both cases, however, the average wages were higher in sugar cane agriculture than in all other cultures, except for soybeans, a highly mechanized culture. The direct -formal and informal - jobs in the sugar cane agro-industry reached circa 930,000 in 2002, for 318 million t sugar cane production/processing. The estimated indirect jobs in the late 1990's were nearly the same, yielding a total of 5,800 jobs (direct and indirect) per million t of sugar cane (Macedo, 2006). These are averages. Differences in jobs/sugar cane produced can be very large among regions in the same country.

It is difficult to foresee the structure of ethanol production in Mexico in the future. Possibly two systems will coexist. One would be similar to today's situation, that is, large number of land owners, small areas, some based on cooperatives. The other system would be based on much larger holdings. Suitable structures (for both systems) will lead to differences in job creation. If priority is given to large scale sugar cane expansion in pasture and marginal lands,

regional development in new areas would take place, creating jobs and promoting social infrastructures where few existed before.

Reviewing and revising creatively the existing social compact between sugar cane growers and mills may offer an opportunity to maintain for the current beneficiaries and to expand social benefits for the rural workers not enjoying them presently. It is not a trivial task. It requires ingenuity and creativity, but without progress in this area the cost of fuel ethanol in Mexico may be too large for the key stakeholders to achieve a consensus in support of an ethanol program in the country. The Brazilian experience of integrating the interests of growers and mills in a freely negotiated agreement guided by technical and economical models and supervised by experts from both sides might be of interest to Mexico (see Annex III)

Implementing the Fuel Ethanol Economy in Mexico

An orderly market penetration of fuel ethanol in Mexico requires a systematic process of decision making supported by the consensus of the relevant stakeholders. Political leadership, from the executive and legislative branches of government would go a long way expediting this process.

The Biofuels Committee – a veritable biofuels stakeholders' group - that SENER gathered a few times in 2006 as part of the IADB/SENER project, was a good starting point for understanding what drives the five key stakeholders: sugar cane growers and millers; oil industry; automotive industry; government; and consumers and environmentalists.

This IADB/SENER project was actually a process to recap existing knowledge and information; study; research and analyze the prospects of fuel ethanol in Mexico. Rationales for fuel ethanol in the broader Mexican energy scene were developed. Studies, research and analyses were conducted aimed at reducing the uncertainties on production, blending, conversion to ETBE, distribution and end use of fuel ethanol. The key stakeholders were engaged in this process. In parallel two major legislative initiatives were submitted to Congress, discussed and are on the verge of becoming laws, namely, the Law on Renewables and the Law on Biofuels. Besides domestic resources, consideration has been given to international cooperation and international trade, with special reference to carbon credits.

As part of the implementation of these Laws, it would be useful to detail an agenda for further stakeholders' dialogues to build up consensus on targets and approaches for production, blending, conversion to ETBE, distribution and end use. This process would originate a detailed implementation agenda. The key stakeholders would then negotiate and implement the formal political, legal, regulatory, financial, industrial and agricultural arrangements to launch the Mexican fuel ethanol program. Evidently, the stakeholders' process is consultative in nature, but it would strengthen the government implementation initiatives. To begin implementation, the previously agreed first stage of the program should be launched, which would begin the learning curve of the process. Problems would appear, inevitably, which would need to be addressed and solved. As the learning curve evolves, learning, corrections and adjustments in direction, intensity and pace would take place. Experience would accumulate and feedback would be received and processed. It would be important to watch for new social, economic, environmental and political factors, which might affect the program.

From time to time, the consensus once obtained among the key stakeholders would need to be checked and modified, if warranted.

SENER and SAGARPA are nominated as the leading government coordinators for the two core Laws promoting fuel ethanol in Mexico. They would have to find an efficient way of combining the overlapping legislative mandates to efficiently implement the will of the representatives of the Mexican people, lest the fuel ethanol program would take longer to come to life than is expected. One way of increasing efficiency is to set up a lean joint Executive Secretariat that integrates the mandates of the two laws with respect to fuel ethanol. Such joint Executive Secretariat would report to SENER and SAGARPA in the terms of the respective laws, but would have operational flexibility and agility to promote the build up of the fuel ethanol economy in Mexico. The proposed joint Executive Secretariat would do well to resort to a Stakeholders' Committee, on a consultative basis, to strengthen the implementation process. Another prospect would be to fully integrate the two pending pieces of legislation to focus on biofuels.

In practice, the fuel ethanol program in Mexico could be launched from the existing sugar cane molasses production capacity aiming at satisfying Scenario # 1, that is, 412 thousand m^3/a. Not all 58 Mexican sugar mills have capacity to produce ethanol. The current capacity is 167 thousand m^3/a, of which 33 thousand m^3 refers to anhydrous ethanol. Thus, it would be necessary to add dehydration capacity for 134 thousand m^3/a hydrous ethanol (167-33 thousand m^3/a), at a cost in the range of $ 6-9 million, depending on the number of units and their location. This 134 thousand m^3/a hydrous correspond to 127.9 thousand m^3/a anhydrous. Adding the current 33 thousand m^3/a capacity amounts to 160.9 thousand m^3/a. Thus, to meet the demand of Scenario # 1, it would be necessary to annex distillation capacity for 251.1 thousand m^3/a (412-160.9 thousand m^3/a). At the unit capacity of 27.09 thousand m^3/a, 9.3 units, or rather 10 units would be required. At US$ 15 million per unit, the total investment in the annexed distilleries would be US$ 150 million. Adding the dehydration plants, overall, some US$ 160 million would be needed to generate a capacity for 412 thousand m^3/a anhydrous ethanol in Mexico. This could be achieved before 2012, if there is the will to launch a fuel ethanol economy in Mexico that is sufficient to overcome the many barriers discussed in the reports of Task #7 and in this one.

During this first stage of the Mexican fuel ethanol program, preparations could take place to move on to the second stage of penetration, which could coincide with Scenario # 2, that is, a demand for anhydrous ethanol of some 1,110 thousand m^3/a (with reference to 2010 demand). Since 412 thousand m^3/a capacity would have been installed in the first stage, the net capacity addition would amount to 600 thousand m^3/a (1110-412 thousand m^3/a). For a unit capacity of 80 thousand m^3/a, 7.5 units would be needed, say 8 units at US$ 50 million each, making up a total of US$ 400 million. These would be rain fed pasture or marginal land based sugarcane juice fuel ethanol plants. The experience of the joint Executive Secretariat could help getting this second stage implemented by 2012.

Incorporating all the learning and adjustments inherent to stages one and two, the program could expand toward its ambitious third stage from 2012). In principle, the target could be Scenario # 3b. Other feed stocks, which might have begun to appear in the previous stage, could expand their contribution, perhaps multiple annual crops sweet sorghum. Nevertheless, it is expected that sugar cane juice based ethanol in rain fed pasture or marginal land

agriculture, would dominate the scene, in case the hopes about sweet sorghum do not materialize. On the basis of sugar cane juice alone, the demand of some 4,406 thousand m^3/a, would require an additional 43 distilleries at a cost of US$ 2.15 billion.

Time horizon	thousand m^3/a	No. units	Investment, US$ million
Up to 2010	412	2-4 dehydration units	6-9
		10 annexed distilleries	150
By 2012	1,110	8 independent distilleries	400
From 2012	4,406	43 independent distilleries	2,150

Building Blocks of a National Ethanol and ETBE Program

The preceding Summary for Policy Makers condenses the contents of reports on seven tasks and must of necessity be as brief as possible. What follows are remarks on the building blocks of national fuel ethanol programs derived from the international experience. A fuel ethanol program can be thought of as part of a transition towards sustainable transportation systems. Fuel ethanol is not expected to complete dislodge gasoline from the market in any period of time. On the contrary, fuel ethanol can stretch oil resources by obtaining a moderate market share and saving gasoline for the future. History shows that there has always been a co-existence of multiple fuels, so that the co-existence of gasoline and fuel ethanol would not be a new development per se.

Governments are the natural initiators of this transition. The implementation itself is carried out by a combination of public and private agents. Governments would be wise to consider national stakeholders' forums to achieve consensus on a prioritized portfolio of integrated actions, in other words, to develop a vision with a broad based support. This can be translated into legislation, regulation, financing, technical assistance, technical cooperation all of which lead to a smoother implementation of a fuel ethanol program.

The main drivers of alternate energy programs, such as fuel ethanol have over time switched from security of supply to environment and public health concerns to climate change and back to security of supply.

Designing and implementing a fuel ethanol program requires a flexible approach to lower risks while promoting the transition to ethanol gasoline blends. This process is definitely helped by continued research, development and demonstration in relevant aspects of the fuel ethanol economy engaging national and international resources.

In the same vein, the risks of implementing a sustainable transportation system based on fuel ethanol are lowered if there is a national agreement based on the consensus of the key stakeholders involved. For sustainability to thrive, international trade must be part of these agreements. This conclusion comes from the observation that there is no energy commodity in the world that is not traded internationally. Thus, at some point in the development of a fuel

ethanol program, fuel ethanol must face the possibility of trading internationally, lest ethanol remains a national, limited curiosity.

Enabling conditions must be established to kick off the transition to a competitive sustainable fuel ethanol market in the long run. Once established, the implementation of national transition strategy that involves fuel ethanol must be checked from time to time via the stakeholders' consultative process.

Fuel Ethanol Implementation Ideas for Mexico

The Summary for Policy Makers has sketched an implementation strategy for fuel ethanol in Mexico, based on the market penetration scenarios developed in the reports of Tasks #2 and #5. Basically, the program would kick off with the conversion of the existing molasses capacity into ethanol via utilizing the existing distillation capacity, adding dehydration capacity and annexed distilleries. Happily, the current molasses capacity is about sufficient to produce the volume of fuel ethanol required by Scenario # 1, to meet the demand of the existing ether plants in Mexico, before 2012.

However, the cost of making fuel ethanol from molasses should be compatible with the opportunity costs of fuel ethanol. The international price of molasses has fluctuated widely over the past six years with a minimum of US$ 20/t and a maximum over US$ 100/t. The molasses price assumed in Task #7 was US$ 70/t. Since molasses has export opportunities and domestic markets, the fuel ethanol program in Mexico should develop measures to dampen molasses price fluctuations. Whatever fuel ethanol projects are being planned and/or implemented currently in Mexico, from other feed stocks such as maize, could play a role in moderating the pressure on molasses supply for ethanol making.

In addition, one way of mitigating such risk would be to begin immediate development of sugar cane juice distilleries. The next step would be to produce enough fuel ethanol to meet the demand for a 5.7% v/v blend in the Metropolitan areas. To the annexed distilleries capacity, new sugar cane juice distilleries capacity would be added from sugar cane grown in rain fed pasture or marginal land. This would begin to happen by 2012. The big leap towards a 10% blend all over Mexico could begin from 2012 and would considerably expand sugar cane cultivation in rain fed pasture and marginal lands. All along, other feed stocks, such as multiple annual crops sweet sorghum and maize, might begin to play a role, and some international trade could take place, exports to the US market, or occasional imports in case of crop failures.

An alternative or complement to the prospects of fuel ethanol based on distilleries annexed to sugar mills is investment in such distilleries for the potable ethanol market, neutral and otherwise. If the current social compact between growers and mills could not be revised or waived for molasses based fuel ethanol, this would lead to high cost ethanol based on high cost molasses. In such situation, mill owners may opt for the higher value potable ethanol market, if not the simpler export of high value molasses instead of the domestic fuel ethanol market. The price support level covered by subsidies, that would have to be provided fuel ethanol under these circumstances could make it difficult to obtain support form the stakeholders' consensus.

The proposed implementation strategy considered new, larger scale independent distilleries based on sugarcane juice from new sugarcane land obtained from land use change of current pasture land and other available land, based on a new compact between growers and distilleries. Such a new compact would integrate the interests of growers and distillery owners and have growers share in the margins, positive or negative, generated from the total productive chain. As previously mentioned, an example of a successful voluntary compact between growers and mills, at work in Brazil is contained in Annex III, the "PARAMETRIC MODEL TO SET THE VALUE OF THE METRIC TON OF SUGAR CANE IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL" (Pádua, 2006)

Given the scarcity of water for irrigation in Mexico, it has been proposed that new sugarcane cultivation take place in pasture and other lands and be rain-fed. Occasional crop failures to be compensated by a lower content of ethanol in gasoline blends or by occasional ethanol imports

Ethanol sales contract between PEMEX and distilleries must be based on the opportunity cost of ethanol in gasoline blends. For 10% blends or lower, the opportunity cost would equal the value of gasoline in the Mexican market, which equals the spot price of gasoline in the US Gulf Coast. This is the "Precio Ventas Producto (PRef)" used to build up the retail price of gasoline in Mexico. Should there be a difference between the cost of ethanol and its opportunity cost, fiscal mechanisms would be triggered in order to prevent losses to PEMEX for paying the momentary extra cost of ethanol with reference to the value of gasoline. Similarly, ethanol destined to ETBE making would be priced at its opportunity cost in that application. Should the ex-distillery price of ethanol exceed its opportunity cost regarding the making of ETBE, again, fiscal mechanisms would be triggered to prevent the ETBE maker from suffering losses from the purchase of ethanol under those conditions. Yet, an alternative pricing approach would be the opportunity cost of ethanol in the international market. Again, whenever necessary, fiscal mechanisms would be triggered to protect the margins of the ethanol buyer in the domestic market, most likely PEMEX

.

If annexed distilleries can be free of the current growers/mills compact, market penetration could start with fuel ethanol produced from them together with a smaller amount of high value potable neutral ethanol. If scenario #1, that is, ethanol supplying domestic ter-butyl ether plants for ETBE making, can be quantitatively supplied with ethanol from domestic annexed distilleries, whose capacity would be of the order of 400 thousand m^3/a, then, start with scenario #1 and gradually build capacity with large scale independent distilleries to satisfy scenario #2 and later scenario #3b. The plausibility of this scenario depends on too many ifs. Most important among them is changing the growers/mills compact for the molasses destined to ethanol making. On the other hand, this would be an interesting challenge to take up as a first step to changing, over time, the overall growers/mills compact for the sugar cane economy of Mexico. Key to this approach is to integrate the interests of the two sides, from sugar cane to molasses to ethanol immediately and later adding sugar to the compact, as is done successfully in other countries, such as Brazil, as shown in Annex III. Another difficulty would be to have mills convinced not to export molasses in lucrative short term deals, but rather to look for the longer term returns of large scale fuel ethanol and small scale high value potable neutral ethanol.

Scenario #2 is essentially a 5.7% blend scenario, which would over time ramp up to 10%, as in Scenario #3b, as more ethanol becomes available. Success in launching scenarios #2 and later #3b, will depend a lot on a carefully designed and expertly implemented program of inspection and maintenance of retail stations, especially underground storage tanks, and of vehicles, particularly those built prior to 1986, when supposedly new cars began to be built with full compatibility to 10% ethanol gasoline blends. PEMEX and the Mexican based auto industry would have an important role to play here.

Ideally, fiscal mechanisms referred to above, would have to be smart and flexible and have sunset date provisions to stimulate technology development from agriculture to ethanol making and the consequent productivity increases. They would have to be designed by Mexicans in the Mexican context, resorting to existing institutional financing mechanisms. The overall objective would be not to penalize PEMEX or the retail network or the consumer with the initially high cost of ethanol produced in Mexico. Such mechanisms would result in short term losses in fiscal revenue, but ought to be amply compensated in the long run by the increased tax revenue from a large scale fuel ethanol economy in Mexico and for the environmental services provided and other externalities, including CDM projects based on grid-connected bagasse co-generation, replacing fossil based generation; and gasoline displacement by fuel ethanol. There is no exception to the rule that every fuel ethanol program launched in the world was launched with the support of financial and other incentives of all sorts, including mandates and the resulting PEMEX purchase contracts; subsidized financing for agricultural investment in sugar cane plantations and for ethanol distilleries; technological support from public and private organizations ranging from improved varieties to fermentation, distillation and stillage disposal; differential taxation of fuel ethanol to be blended with gasoline to equalize the costs of ethanol and gasoline in the blend delivered through the retail network. This would result in a short term loss to the Treasury, which could be compensated through funds to be established in the implementation of the Mexican legislation concerning biofuels and alternative energies.

The key legislation, now pending in Congress, involves the Law on Renewables and the Law on Biofuels. The corresponding lead Government bodies are SENER and SAGARPA, respectively. Although the legislative zeal on renewables/biofuels is welcome, a special effort is need to coordinate implementation initiatives. Thus, a joint Executive Secretariat reporting to SENER and SAGARPA and advised by a Stakeholders' Committee, is proposed to fulfill the mandates of the laws in an expeditious, effective and efficient way. Even better would be if the two laws could be merged in what regards biofuels.

ANNEX I

Stakeholders' Analysis

A stakeholders' analysis is a useful tool to review the drivers, the barriers and the rationales for introducing a biofuels economy into Mexico. In the case in point only biomass-derived ethanol for use as a gasoline blend component and/or as a feedstock to a ter-butyl ether plant to make ETBE are considered. Biodiesel derived from vegetable oils and intended for blending with diesel is not treated here.

The key stakeholders in a potential Mexican fuel ethanol economy have already been analyzed in the report of Task #7 and also in this report of Task #8. The analysis below focuses on the crucial stakeholders on the demand and end use side of fuel ethanol, namely, PEMEX, the distribution retail network and the automotive industry:

PEMEX

Most of the material analyzed here was obtained from the report of Task #2 (Rodriguez, 2006). PEMEX would be the sole buyer of fuel ethanol for blending with gasoline in Mexico. Its infrastructure would have to be ready to handle the new blends. Also, in the case of scenario #1, PEMEX ter-butyl ether plants would have to be ready to process ethanol into ETBE

Mexican energy is ruled by a set of laws and regulations that include the following:

- Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo
- Ley del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS)
- Ley del Impuesto al Valor Agregado (IVA)
- Ley de Energía para el Campo
- Proyecto de Decreto de la Ley para el Desarrollo y Promoción de Bioenergéticos
- NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental

The Mexican Constitution makes oil resources a state monopoly. Such monopoly is exercised by PEMEX on behalf of the Mexican State. This monopoly includes the refining in Mexico of crude oil from any source, as well as the transportation, distribution and refined products wholesale. Regardless of the fact that fuel ethanol in Mexico would not be fossil in origin, its proposed commercial use requires blending with gasoline, a prerogative of PEMEX Refinación, which is also the owner and operator of the PEMEX franchise, resides supplying all fuels sold in retail stations.

The IEPS and IVA laws cover the imports and the retail sales of gasoline and diesel. Article 2nd of the IEPS law determines that the reference prices of imported gasoline and diesel would be adjusted to account for their quality to which handling and net freight costs to the retail stations should be added. The latter components would be free from IVA.

Article 2nd, item B, establishes the tax rate for potable and industrial ethanol, denatured and un-denatured, as well as for spent molasses at 50%. Obviously, the Mexican legislation is yet to contemplate the tax rate for fuel ethanol. When it does, the IEPS and the IVA for fuel ethanol would have to be established with a view to facilitate the market penetration of fuel ethanol in the Mexican economy.

The "Ley de Energía para el Campo" sets out the regulations and criteria for supporting all agricultural activities. The "Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación" (SAGARPA), determines the energy quotas for each kind of agricultural activity for each productive cycle.

The decree of the "Ley para la Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos" has been approved by the Chamber of Deputies and by the Senate and has now been returned to the Deputies for reconciliation. As is, the Decree defines a maximum volume content of bio-ethanol for the formulation of gasolines at national level, and requests estimates of the investment required to build up a ethanol production infrastructure, as well as the support needed to consolidate an make feasible this initiative, driven by concerns over the national agricultural development of Mexico.

NOM-086, published in the Federation Official Gazette (DOF) in 30th. January 2006, defines the specifications for gasoline (PEMEX Magna y Premium). PEMEX Magna gasoline marketed in the metropolitan areas of Guadalajara (ZMG), Monterrey (ZMMTY) and the Valle de México (ZMVM), can contain a maximum of 2.7% oxygen by weight. The same goes at the national level for PEMEX Premium, but there is no mention of the specific oxygenated product to use, except the need to report which one is being used. The currently used oxygenate is the methyl ter-butyl ether and the methyl ter-amyl ether (MTBE and TAME, respectively). Some is made in Mexico and the balance is imported as MTBE.

As is the case in the oil industry worldwide, there is an innate preference to bring to market refined products where it can exercise a measure of control in order to manage margins, profitability and the tax load. Purchasing a finished fuel, such as fuel ethanol with posted prices, from outside the industry limits the possibilities of internal transfer pricing and margin management. Given that PEMEX is the sole buyer of fuel ethanol in Mexico, PEMEX has considerable leverage regarding bringing ethanol gasoline blends to market.

PEMEX would need to make infrastructure arrangements in order to transport ethanol from distilleries, store ethanol at blending terminals, blend the ethanol with gasoline in the prescribed proportion and distribute the blended fuel to retail station in tank trucks. Ethanol, in contrast with the ter-butyl ethers is not fungible with gasoline and requires segregation until blending and loading the tank trucks for distribution. Nevertheless, making the necessary infrastructure arrangements described above need not be an expensive proposition and has been done before in other countries, which use fuel ethanol, such as Brazil, the USA, Thailand, India, Kenya, Malawi, Paraguay and others.

An issue that has to be addressed is the storage of fuel ethanol to allow for a smooth supply even when the distilleries are not running due to the inter harvest period. This has to be negotiated between the distilleries, which would have to store the bulk of the volume of ethanol and PEMEX, which would need to maintain some fuel ethanol storage themselves, at

blending terminals and at ocean ports that might be receiving in or shipping out fuel ethanol. Besides the tankage investment requirements there is the obvious issue of who pays to maintain the inventory.

Refining operations would have to be adjusted in order to prepare a gasoline blend stock suitable for blending with gasoline. This is so due to the rise in vapor pressure when ethanol is added to gasoline. Thus, butanes and pentanes, which are low value common light components of gasoline, must be removed to lower the vapor pressure of the blend stock so that when ethanol is added, the vapor pressure rise does not go above the specified limit established by the environmental authorities. This operation results in refineries having to move butanes and pentanes to low value markets and therefore possibly reducing refining margins. However, in most countries in the world where ethanol is blended with gasoline, this is a reality that refineries have become used to live with. On the other hand, since Mexico is a net importer of gasoline, the introduction of fuel ethanol blends up to 10% would save on investment in new refining capacity to produce more gasoline and would save on gasoline imports.

Mexico's Ter-butyl ether (MTBE + TAME) capacity from 6 plants is 15.6 thousand barrels a day (TBD), which resulted in 2005 in a deficit of 7.4 TBD. Ter-butyl ether plants owned and operated by PEMEX in Mexico would switch to making ETBE, according to Scenarios #1 and #2. In phasing out MTBE, if the market regulations allow, ETBE making is a higher value proposition than the alternative of making alkylates and iso-octane, for the output of the plant would increase. The oldest MTBE plant in the world, located in Ravenna, Italy, produces MTBE most of the time, but when ethanol prices are attractive, it merely changes operational parameters, such as pressure and temperature, and switches to ETBE making. Similarly, in France, former MTBE plants have switched to ETBE as a result of favorable subsidized ethanol prices. Thus, it should cause PEMEX no great expense to switch from MTBE to ETBE making in its domestic plants.

To err on the side of caution, before the introduction of ethanol gasoline blends, PEMEX would need to institute a rigorous program of inspection and maintenance of retail stations, especially with respect to underground storage tanks. This is due to the affinity of ethanol for water, which is often present in tank bottoms of underground storage tanks, which may lead to phase separation, especially in lower temperatures that may occur in some parts of Mexico on occasion throughout the year. Furthermore, retail stations operators would need training prior to the introduction of ethanol gasoline blends to ensure understanding on their part of the nature of the new fuel blend and the adoption of pertinent operational and maintenance routines. Although these initiatives incur costs, the returns from a cleaner, trouble free operation would more than compensate the investment. The public may be uneasy about the introduction of a new fuel ethanol blend, which suggests caution in the early implementation to avoid damaging the image of fuel ethanol.

The price of gasoline in Mexico is built up from the opportunity cost, determined by the US Gulf Coast bulk gasoline spot prices. To this a series of taxes and levies are added covering IEPS, IVA on all value added along the chain, freight from terminal rack to retail station, and the commercial margin of the retailer. As the sole buyer of ethanol for blending with gasoline, PEMEX should not have its margins squeezed, if the price of ethanol is higher than the gasoline blend stock. Compensatory mechanisms mentioned elsewhere in this report should be activated when such situations occur to remove this potential strong barrier to the market

penetration of fuel ethanol in Mexico. Conversely, in situations where the price of ethanol is lower than the cost of gasoline blend stock, then the price differential should flow to the compensatory scheme referred to above.

As Mexico shares a long border with the USA, that includes California, Arizona, New Mexico and Texas, there may be opportunities in the border to introduce fuel ethanol blends on the Mexican side of the border. For instance, in California, fuel ethanol can be blended up to 5.7 % in volume of gasoline. Thus, a 5% ethanol blend could be a starting point of fuel ethanol blend use in Mexico, especially as ethanol production is being built up and there is no sufficient capacity for a 10% blend.

Obviously, prior to introducing ethanol blends in Mexico, it would be necessary for the proper authorities to define the specifications of ethanol gasoline blends via appropriate legislation and regulations. NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 would have to be revised to account for fuel ethanol blends. There are plenty of examples of such specifications in the countries that are already using ethanol as a fuel. Since these specifications vary form country to country, Mexico should consider as a source for its own specifications those that fit its interests and peculiarities. Just to exemplify, in the USA, the product that leaves a ethanol distillery gate is actually E95, that is a blend of anhydrous ethanol containing 5% of gasoline, which is used as a denaturant agent and to characterize the change in the fiscal status of ethanol, from potable to fuel. On the other hand, in Brazil, there is no denaturant mentioned in the fuel ethanol specification.

The technical compatibility of gasoline blends containing MTBE, ETBE and ethanol should not be an issue. For instance, gasoline fueled vehicles in New York State consume E10, a 10% ethanol gasoline blend, and when they travel to the adjoining state of New Jersey they refill with gasoline containing MTBE. Thus, the fuel tanks of these vehicles might contain MTBE and ethanol at the same time. This is not an issue with vehicles newer than1986 model, but the Mexican fleet age distribution is different than that in the USA and this matter may need to be examined from a Mexican perspective.

The Fuel Retail Network

The fuel retail network would have to be technically equipped to handle the new fuel blends containing fuel ethanol. Their margins should not be affected by selling the new blends, lest they become a force of resistance to market penetration of fuel ethanol blends.

PEMEX would have to provide them with assistance, technical and otherwise, to prepare the retail stations to handle ethanol gasoline blends. This preparation would involve training of retail stations operators; verification of compatibility of materials, which would be in contact with the blends; thorough inspection of underground storage tanks and maintenance to minimize the amount of water. It would also include possible repairs required to make the retail stations fit to handle fuel ethanol.

There is no point in labeling the blends at the retail stations, for it might raise concerns among vehicle owners as to the suitability of the new fuel to their equipment. Obviously, as part of the overall preparations for a possible fuel ethanol program in Mexico, the automakers would be involved in assisting the operators of older vehicles about specific measures they should

undertake to be able to use the new blend. As the program gets established, then fuel ethanol could be promoted as a "green" fuel.

Since gasoline prices should not be affected by the presence of ethanol and since the performance of vehicles, given preparatory initiatives, would remain the same, no purpose would be achieved labeling the pumps at retail stations.

The Mexican Automotive Industry

The automotive industry, whose vehicles would have to be fit to run on ethanol gasoline blends and to advise the owners of vehicles older than 1986 model year on the preparations and costs involved in having their vehicles ready for using ethanol gasoline blends. Mexican's automotive industry makes cars for exports to a number of markets that require compatibility with ethanol gasoline blends of various compositions.

A 2006 study presented by the Mexican Automotive Industry Association – AMIA to the stakeholders' group that met several times at SENER, in Mexico City, referred to the US fuel ethanol specification (ASTM-D-4806-98), in the absence of a Mexican specification. That specification was developed for the conditions and interests prevalent in the US, where, for instance, ethanol as it leaves the distillery gate is actually E95, a blend of anhydrous ethanol and 5% gasoline used as a denaturant and as a way of changing the fiscal classification of ethanol from potable alcohol to fuel ethanol.

The AMIA study is generally over cautious and not entirely correct on a few technical points. The truth is that ethanol blends at 5% content are compatible with any vehicle in Mexico, or anywhere else. In fact, a presentation by a representative of the Brazilian Automotive Industry Association at a meeting of the International Energy Agency in Paris, in June 2005, indicated that for a 5% ethanol blend, no change in engine components whatsoever is necessary. For a 10% blend, only carbureted engines would require modification, probably on material of construction of the carburetor. This fits well with the 5.7% ethanol content in gasoline during the first two stages of implementation, as it would allow time for the vehicular fleet that requires adjustments to have them made prior to using the 10% blend in the latter stages of the program.

ANNEX II

Stakeholders' Strategic Objectives, Risks and Mitigation Measures

The key stakeholders in Mexico's fuel ethanol economy have different strategic objectives, which may entail risks/barriers that may be overcome by certain mitigation measures. This is a dynamic process that changes with time as the political, social, economic and environmental situation changes. A snapshot of the present Mexican stakeholders' framework of strategic objectives, risks/barriers and mitigation measures is depicted as follows:

Strategic Objective	**Risks/Barriers**	**Mitigation Measures**
Stakeholder: PEMEX		
- Ether imports (MTBE)	- Sunk costs of Mexican ether plants (MTBE, TAME) - Cost to convert ether plants to ETBE	- Switch ether plants to iso-octane at low investment cost - Use existing ether assets
- Gasoline imports	- Availability of fuel ethanol Supplies	- Save refinery invest--ment to expand gasoline output
- High gasoline margins	- Risk of lower margins due to occasional high ethanol costs	- Price ethanol at the opportunity cost of gasoline - Manage price differentials via fiscal mechanisms
- Current fuel storage, Handling infrastructure	- Investment in fuel ethanol storage, blending at terminals	- Not so expensive at US?$ 6 million total? - Other large nations had no trouble doing it (USA, Brazil)
Stakeholder: The Fuel Retail Network		
- Keeping margins	- Occasional high prices of fuel ethanol	- Manage price differentials via fiscal mechanisms
- New blend customers	- Cost of inspection, maintenance and repairs	- PEMEX to provide technical assistance - Ethanol related special financing to fund inspection, maintenance and repairs

Stakeholder: Automotive Industry

- Maintain/expand car sales	- Pre-1986 model modifications	- Auto-industry to Provide technical Assistance
	- Carburetor change for blends over 5% ethanol content	- Ethanol related special financing to fund vehicle modifications
- Expand exports to fuel ethanol consuming countries	- Competition in foreign markets	- Export promotion mechanisms

Stakeholder: Sugar Cane Growers

- Increased no. of jobs	- High cost of social compact	- Devise alternatives delivering same benefits of existing social compact
	- Ejido regime	- New rules for new land under sugar cane for ethanol
- Maintenance of social compact benefits		

Stakeholder: Ethanol Distilleries

- Alternative molasses markets	- High cost of social compact	- Revise social compact for molasses based fuel ethanol
	- Export value of molasses	- Ethanol may provide steadier markets and prices for molasses
- Alternative use for pasture	- Value of pasture land	- New social compact for new land under sugar cane
	- Alternative uses of pasture land	- Steadier cash flow from sugar cane for ethanol
		- Ethanol related special financing to fund distillery construction

Stakeholder: Environmentalists

Improved local air quality	- Lack of definitive information on local environmental benefits of ethanol blends	- Critical survey of literature - Analysis of actual data with Mexican blends
Decreased GHG emissions	- Lack of easier access to carbon credits	- Pilot CDM project before Bonn Board
Improved water quality	- Lack of knowledge of impact of blend leakage on soil, water under Mexican conditions	- Run water, soil contamination studies in Mexico

Stakeholder: Consumers

Total cost of operating vehicle same or lower than gasoline	- Ethanol blends may be costlier than pure gasoline - Maintenance costs may be higher than with gasoline	- Run trials in Mexico with blends to confirm ethanol blends total cost is same or lower than with gasoline

Stakeholder: Governments

More, better rural jobs	- High cost of ethanol production	- Review/revise social compact
Holding internal, external migration	- Current sugar cane social compact - Lack of technical support	- Broad technical support: agriculture to ethanol to end use
Improved local air quality Mitigate GHG emissions		- Develop fuel ethanol specifications
Stretch oil resources	- Lack of articulated financing for fuel ethanol program	- Revive sugar cane variety program
Create Mexican Fuel Ethanol Program	- lack of fuel ethanol mandate	- Fully implement pending legislation
	- PEMEX as the single buyer	- Create joint Executive Secretariat SENER/SAGARPA to comprehensively develop full package based on pending legislation on biofuels and renewables, including mandates
Create potential for new exports	- Competition in foreign markets	- Export promotion mechanisms

ANNEX III

Parametric model to set the value of the metric ton of sugar cane in the state of São Paulo, Brazil

ORGANIZATION RESPONSIBLE FOR THE SYSTEM:
CONSECANA – Council of Producers of Sugar Cane, Sugar and Ethanol of the State of São Paulo. CONSECANA is a not for profit organization composed of 5 representatives of independent sugar cane growers and 5 representatives of the sugar cane processors. CONSECANA began its activities in 1998, the year when government policy changed from administering the sugar cane industry prices and let the market determine the prices of sugar and ethanol.

TECHNICAL SUPPORT:
Experts from the two sides.

OVERALL REVIEW AND REVISION:
Every 5 years. Punctual adjustments, from harvest to harvest

MODEL:
Voluntary, not coercitive. It provides a reference value for setting the value of sugar cane prior to the harvest. It has been adopted by practically all cane growers and suppliers and mill and distilleries.

The model assumes:

Financial-economic parameters:
Share of sugar cane of the net sales prices (without taxes) at mill/distillery gate earned by the mills/distilleries selling sugar and ethanol in domestic and foreign markets.

White sugar and Very High Polarization – VHP: 59.5%
All types of ethanol: 61.5%

These parameters were developed from the sugar cane production costs and the costs of processing sugar cane; the capital return and depreciation of investment in agriculture and processing, within market conditions and equipment useful life; and working capital requirements for both agricuture and for the mills/distilleries.

The level of losses and efficiency adopted for the parameters for the amount of Total Reducing Sugars (ATR) in sugar cane and and the price of the Kg of the ATR were as follows:

- Overall losses of the production process: 9.5%
- Fermentation efficiency: 88%
- Distillation efficiency: 99%

Quantifying ATR in sugar cane:

From sugar cane analysis the amount of ATR is given by the formula below:

ATR = 9.5263 x PC + 9.05 x ARC, where:
PC = Pol (Polarization) of sugar cane
ARC = Sugar cane reducing sugars

Example:
Average sugar cane in the State of São Paulo:
PC = 15.0% pol
ARC = 0.5
Thus, ATR is 147.42 Kgs.

This same sugar cane can yield:
83.52 liters anhydrous ethanol
or,
87.,16 liters hydrous ethanol (neat ethanol)
or
121.97 Kg Crystal Standard Sugar (150 color)
and
11 liters of anhydrous ethanol, or any production mix accrding to the configuration and capacity of the mills/distilleries

CONVERSION FACTORS FOR THE PRODUCTS AND FOR PRICES AS A FUNCTION OF THE VALUE OF THE Kg OF ATR:

.
White Sugar:
1 Kg of white sugar equals 1.0495 Kg ATR

VHP Sugar:
1 Kg VHP sugar equals 1.0453 Kg ATR

Anhydrous Ethanol:
1 liter anhydrous ethanol equals 1.7651 Kg ATR

Hydrous Ethanol:
1 liter hydrous ethanol equals 1.6913 Kg ATR

Example:
Anhydrous ethanoll selling price: R$ 1.00/ liter
Invoicing per metric ton of milled sugar cane: 83.52
ATR content of sugar cane: 147.42
Value of one Kg of ATR: 0.34843 = (83.52/1.7651*.615)
Value of one metric ton of sugar cane: R$ 51,36

Examples can be developed for any of the products and prices considered employing the parameters mentioned above

PRICES:

Consecana contracted the University of São Paulo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea)/Esalq to survey the prices enjoyed by São Paulo State producers in selling sugar and ethanol to the domestic and external markets, which are well accepted by the market and by the relevant stakeholders.

List of References

Lazcano, I., 2006a, Activity 3: Overview of Agricultural Aspects, Documento final de trabajo del Proyecto Feasibility of Biomasa-Derived Etanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID (Project ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME).

Lazcano, I., 2006b, Activity 4: Ethanol Feed Stocks, Documento final de trabajo del Proyecto Feasibility of Biomasa-Derived Etanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID (Project ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME).

Macedo, I.C., 2006, Activity 6: Potentials in Relation to Sustainability Criteria, Final working documento of the project Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID (Project ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME).

Masera, O and Manuela Prehn, 2006, Activity 1: Economic Overview, Documento final de trabajo del Proyecto Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID (Project ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME), 28 April.

Nogueira, L. A. H., 2006, Activity 5: Production and Utilization of Ethanol and ETBE in Mexico: Current Status and Future Prospects, Documento final de trabajo del Proyecto Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID (Project ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME).

Pádua Rodrigues, Antônio de, 2006. Personal Communication on the Brazilian Sugar Cane Social Compact, 6 September.

Rodríguez, N., 2006, Activity 2: México´s Energy Picture, Documento final de trabajo del Proyecto Feasibility of Biomass-Derived Ethanol as a Fuel for Transportation, SENER/BID (Project ME-T1007 – ATN/DO-9375-ME).

4 Biodiesel in Mexico

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

Task B: Agricultural aspects and sources for biodiesel production

Ignacio Lazcano Martínez

gtz

Índice

1. Consideraciones Generales

1.1 Selección de cultivos para materia prima

1.2 Las Regiones seleccionadas

2. Palma Africana o de aceite

2.1 Condiciones ambientales

2.2 Tipología de productores

2.3 Generación de empleo

2.4 Eslabón de industrialización

2.5 Análisis económico sustantivo

2.6 Participación de la materia prima (costo primo) en la fabricación por litro de Biodiesel

3. Jatropha Curcas

3.1 Composición de la semilla de Jatropha Curcas

3.2 Análisis económico sustantivo

3.3 Costo de la plantación y mantenimiento del cultivo por hectárea en la vida útil del proyecto

3.4 Participación de la materia prima (costo primo) en la fabricación por litro de Biodiesel

4. Frijol Soya

4.1 Composición del grano de Soya

4.2 Costo de cultivo y cosecha de la Soya, tecnología temporal en el sur de Tamaulipas. Ciclo PV 2005

4.3 Análisis económico sustantivo

4.4 El Costo primo de la Soya en la producción de un litro de Biodiesel

5. Colza 62

5.1 Análisis económico en la Zona de Cortazar, Gto ciclo OI 2005-06

5.2 Análisis del cultivo en el Valle del Yaqui, Sonora

5.3 Composición de la semilla de Colza

5.4 Costo Primo de la semilla de Colza en la producción de un litro de Biodiesel

6. Cártamo

6.1 Análisis económico del Cártamo en el Valle del Yaqui, Sonora

6.2 Composición de la semilla de Cártamo

6.3 Costo primo del Cártamo en la producción de un litro de Biodiesel

7. Girasol

7.1 Análisis económico sustantivo

7.2 Composición de la semilla de girasol

7.3 El costo primo de la semilla de girasol en la producción de un litro de Biodiesel

8. Resumen de los costos primos de cultivos potenciales para la producción por litro, de Biodiesel en México

9. Bibliografía

1. Consideraciones generales

Se denomina Biodiesel (metil-ester de ácidos grasos), al producto resultante de la reacción química entre los ácidos grasos, principalmente de los aceites vegetales con alcoholes como el metanol o el etanol. El proceso se llama químicamente: transesterificación.

El Biodiesel sustituye como combustible limpio y renovable a los derivados del petróleo, concretamente al Diesel y lo hace con ventaja ecológica ya que reduce las emisiones de gases que provocan el efecto de invernadero. Así, por ejemplo, el uso de una tonelada de Biodiesel, evita la producción de 2.5 toneladas de dióxido de carbono (CO2) y sobre todo elimina, si se usa el Biodiesel solo en los motores, las emisiones de azufre (SO2) del Diesel, evitando las lluvias ácidas; además, lo que es fundamental: es un combustible renovable y no finito como los hidrocarburos.

La producción mundial de Biodiesel en el lapso de 1993-2003 creció a una impresionante tasa del 28.5% anual, de 38 a 467 millones de galones, mientras la producción de Bioetanol creció a una tasa del 6.7% anual en el mismo periodo de tiempo, alcanzando en el año de 2003, los 5 mil 770 millones de galones.

Fuente: World Watch Energy Agency 2004.

1.1 Selección de cultivos para materia prima

La primera especie seleccionada por su gran eficiencia y productividad en el trópico húmedo y sub-húmedo, así como la gran superficie que la puede alojar en nuestro país y que hoy no necesariamente es tierra de cultivo, lo es La Palma Africana. (Elaeis guineensis jacq)

La segunda, la Jatropha curcas L. ó piñoncillo, seleccionada por su adaptación a condiciones difíciles de suelo y clima, su rusticidad y capacidad de mejorar los suelos.

Como tercer cultivo, se analizará el Frijol Soya (Glicina max) porque en su producción de temporal, se podrían en el futuro próximo cultivar amplias superficies hoy prácticamente marginales.

A solicitud de GTZ hemos incluido también, el análisis técnico-económico de los cultivos de Colza, Cártamo y Girasol.

1.2 Las regiones seleccionadas

Para el desarrollo de la palma africana con propósitos de Biodiesel, la región seleccionada fue: Pacífico sur, específicamente áreas como el Soconusco en los municipios de Acapetahua, Acocoyahua y Mapastepec.

Para el caso de la Jatropha, se considera la region Peninsular, específicamente en lo que fue la Zona Henequenera de Yucatán.

En lo que se refiere a la Soya, se analiza su cultivo en la región Huasteca, de los estados de Tamaulipas, Veracruz y San Luis Potosí.

Para el caso de la Colza el estudio se hizo para las zonas de Cortazar, Gto y el Valle del Yaqui, Sonora; regiones de El Bajío y el Mar de Cortés respectivamente.

El Cártamo se analiza en la zona de mayor superficie y producción de la República, que es la del Valle del Yaqui, Sonora en la region del Mar de Cortés.

El cultivo del Girasol, que prácticamente no se cultiva en México, ha tenido un buen esfuerzo en el pasado, en el estado de Tamaulipas, región del Golfo Norte y es por ello que con la tecnología de temporal, se analiza en la zona centro del estado mencionado.

2. Palma africana o de aceite (Elaeis guineensis jacq)

Es una planta del trópico húmedo, que es la mejor opción para las tierras bajas de las regiones tropicales y ayuda a prevenir la erosión.

En Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, (INIFAP) nos informa que existen el país, "alrededor" de 2.5 millones de hectáreas con buen potencial para su cultivo, localizadas en los estados de Chiapas, Campeche, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco y Veracruz.

En el año 2004, se encontraban bajo cultivo en nuestro país, 36,374 has, en Chiapas, Veracruz, Campeche y Tabasco, de las cuales 30,603 son de temporal, destacando los rendimientos de Chiapas con un poco más de 18 toneladas de racimos frescos por hectárea y un precio medio rural de $ 628 por tonelada de fruta fresca.

Es oportuno mencionar que en otros países de América como en Costa Rica, con nuevas variedades y desde luego mejor tecnología de producción que la nuestra, se cosechan de 38 a 40 toneladas por hectárea por año, de racimos de fruta fresca, que se traducen en 9.8 toneladas de aceite con los que se pueden producir 12,302 litros de Biodiesel por hectárea.

La producción mundial de aceite de Palma en el ciclo 2003-04, se pronosticó en 28.77 millones de toneladas métricas. Este pronóstico para 2004-05 fue de 30.4 millones de toneladas, siendo los principales productores Malasia e Indonesia.

En América destacan por su producción de 2004-05 (Tons de aceite)

Ecuador	262,000
Costa Rica	189,000
Brasil	149,000
Honduras	144,000
Guatemala	92,000
Venezuela	85,000

Fuente: Oil World Statistics.2004.

Se proyecto un precio para el aceite crudo en el ciclo 2004-05 de US472 dólares ($5,428 pesos) por tonelada métrica, referenciado a Rótterdam.

En México en el año de 2003, la superficie sembrada era de 29,167 hectáreas y la superficie cosechada produjo 217 mil toneladas de racimos frescos. El precio medio rural por tonelada fue de 731 pesos, es decir 103 pesos más que el pagado a los agricultores del Soconusco en el año de 2004.

2.1 Condiciones ambientales

Suelo: Este cultivo requiere que existan suelos profundos y bien drenados, con pH de 4 a 7, como son los cambisoles, vertisoles y acrisoles.

En cuanto a los suelos, estos también presentan una variación muy fuerte, así tenemos que en el estado de Campeche, podemos encontrar desde rendzinas de texturas arcillosas con topografía plana y escarpada en la zona Sabancuy-Escárcega hasta suelos planos y profundos de textura arcillosa y franca como son los luvisoles y gleysoles de la región Aguacatal y Palizada.

En cuanto al estado de Chiapas, podemos encontrar suelos de las series luvisoles y regosoloes con texturas francas y franca arenosa, de topografía plana y ligeramente inclinada; finalmente en los estados de Tabasco y Veracruz, tenemos suelos tanto luvisoles como acrisoles de texturas francas y topografía plana.

Clima: Debido a la temperatura y humedad que requiere este cultivo el clima propicio para su desarrollo es el Cálido – Húmedo y Cálido – Subhumedo.

Precipitación: Este es un cultivo que requiere de grandes cantidades de agua por lo que la precipitación pluvial idónea es de 1800 mm bien distribuidos durante todo el año.

Como se mencionó anteriormente, el cultivo de palma de aceite se encuentra establecido en la región climática del trópico húmedo, en donde los volúmenes de precipitación son muy importantes y varían ampliamente de una zona a otra, así tenemos que en el estado de Campeche, esta va desde los 1200 mm en la parte centro-sur, mientras que en el sursureste esta es de 1800 mm anuales, por otro lado en el estado de Chiapas, esta varia de 2000 mm en la parte del Soconusco en la zona costera hasta más de 2400 en la zona Selva en la región de Palenque.

Una de las regiones de mayor precipitación, es la zona del golfo, que comprende a los estados de Tabasco y Veracruz, en donde pueden llegar a ser mayores a los 2400 mm anuales.

Temperatura: Lo ideal para este cultivo es una temperatura media de 22° C a 28° C.

Altitud: La altitud requerida por el cultivo es de hasta los 400 metros sobre el nivel del mar.

2.2 Tipología de productores

A principios del año 2003, de acuerdo al padrón nacional de productores, existen un total de 7,325, de los que el 96 % corresponden al sector social y el resto 4 % al sector privado. Del total de productores, el estado de Chiapas tiene el mayor número, con 3,246 que corresponde al 44 %; el estado de Veracruz con 2,469 con el 34 %; Campeche con 900 que corresponden al 12 % y finalmente se encuentra Tabasco con 710 productores que equivale al 10 %.

Fuente: Estudio Cadena de la palma de aceite Campeche. Inifap, Produce, Cofupro

La mayoría de los productores están organizados en diferentes formas jurídicas entre las que se pueden mencionar, Sociedades de producción Rural (SPR), Sociedades de Solidaridad Social,

Asociación Agrícola de productores de Palma y Sectores de Producción Rural, finalmente, existe una pequeña proporción de productores libres, los cuales están en proceso de incorporación a alguna de estas organizaciones. En Campeche existe una organización llamada Unión de Palmicultores del Milenio, formada por 15 SPR. En Tabasco, se encuentran las Asociaciones Agrícolas Locales de Productores de Palma de Aceite de Tenosique, Balancán y Jalapa. En Veracruz, están las Uniones Estatal de Palma de Aceite de Veracruz y Regional de Productores de Palma de Aceite, SSS.

2.3 Generación de empleo

De acuerdo a las estimaciones hechas en las zonas de producción, se considera que se pueden generar hasta 50 jornales por hectárea por año, por lo que si se considera que la superficie establecida al 2003 de 29,167 hectáreas, se estarían generando un total 1´458,335 jornales, esto sin considerar las maniobras de acarreo, labor que corre por cuenta de la empresa extractora, en la mayoría de los casos.

2.4 Eslabón de Industrialización

Las oleaginosas anuales en México han mostrado reducido crecimiento como para ser importante en la sustitución de importaciones de semillas; por lo que éstos continuarán siendo base para el uso de la capacidad instalada de la industria.

La industria aceitera de palma esta compuesta tanto por extractoras como refinadoras. En el caso de las plantas extractoras de aceite crudo de palma, estas se localizan en los cuatro estados productores, debido a que por sus características físico-químicas debe procesarse en un lapso de tiempo muy corto.

La capacidad instalada conjunta de las plantas extractoras, alcanza 68 toneladas de racimos de fruta fresca por hora, encontrándose estas instalaciones industriales principalmente en el estado de Chiapas, pero se cuenta con ellas en Veracruz, Campeche y Tabasco. Solo una de estas agroindustrias pertenece al sector social y también es oportuno destacar que siete de las nueve instalaciones iniciaron actividades en los años 2001 al 2004, como se muestra en el siguiente cuadro.

PLANTAS EXTRACTORAS DE ACEITE DE PALMA EN EL SURESTE MEXICANO

Extractora	Municipio	Estado	Capacidad (Tmrff/hora)	Inicio de actividades	Sector
LA LIMA	Villa Comaltitlan	Chiapas	2	1970	Privado
BEPASSA	Acapetahua	Chiapas	6	1995	Social
AGROIMSA	Mapastepec	Chiapas	10	2001	Privado
PROPALMA SA	Acapetahua	Chiapas	10	2002	Privado
PALMA TICA DE MEXICO	Palenque	Chiapas	10	2004	Privado
AGROIPSA SA	Palenque	Chiapas	8	2004	Privado
CIA ACEITERA CAMPECHANA	Escárcega	Campeche	8	2003	Privado/social
ACEITES DE PALMA	Acayucan	Veracruz	10	2003	Privado
Soc de Prod de PALMA	Jalapa	Tabasco	6	2003	Privado

Fuente: ANIAME

2.5 Análisis económico sustantivo

La vida útil económica de la palma africana que se tomó para este trabajo fue de 23 años, con 21 años de producción que se inicia a los 3 años de plantada.

La producción acumulada en su vida útil alcanzó 433 toneladas por hectárea, con un promedio de 20.64 toneladas de cosecha por año.

Edad (Años)	Producción anual (t/RFF/ha)
3	6.5
4	13.0
5	18.0
6	19.5
7	21.0
8	22.5
9	24.0
10	24.0
11	24.0
12	24.0
13	24.0
14	24.0
15	24.0
16	24.0
17	24.0
18	22.0
19	21.0
20	20.0
21	19.0
22	18.0
23	17.0
Total	433.5

Fuente: Union de Palmicultores.2004

El valor actual de este volumen de cosecha se eleva a $271,924 por hectárea con una media de valor anual de ingreso bruto de $11,823/ha.

Los apoyos del Gobierno de Chiapas al cultivo de la palma, consisten en la entrega gratuita de la planta lista para ponerse en el lugar definitivo, más $2,000 por hectárea para la plantación.

La inversión actual con cargo al agricultor para establecer una hectárea de palma es de $13,543. Los gastos de mantenimiento/ha promedian aproximadamente $5,000/año. Los de cosecha $150/ton y el acarreo de los racimos $40/ton.

Así, el análisis económico referido a una tonelada y una hectárea, en la vida de la plantación se presenta de la siguiente manera:

Costo de producción cosecha y acarreo por tonelada:

Plantación	$ 13,543/433 toneladas =	$31.28
Mantenimiento 23 años	$115,000/433 ton	265.59
Cosecha		150.00
Acarreo		40.00
Costo total por tonelada RFF, LAB planta		486.87
Precio al agricultor por ton de racimo		628.00
Relación Beneficio-costo		1.29
Rendimiento por peso invertido		2.12

Fuente: Palmas Oleaginosas de Acapetahua SPR de RI

El análisis por hectárea se presentaría así:

Racimos cosechados (toneladas)	433
Valor acumulado de la cosecha	$ 271, 924
Costo de la plantación	(13,543)
Costo del mantenimiento acumulado	(115,000)
Costo de la cosecha acumulada	(64,950)
Costo del acarreo acumulado	(17,320)
Margen:	61,111
Relación Beneficio-costo	1.29
Rendimiento por peso invertido	2.12
Margen promedio por ha, por año	$ 2,657.00

2.6 Participación de la materia prima (costo primo) en la fabricación por litro de Biodiesel

Una tonelada de aceite más 150 kilos de etanol, producen 1,050 kilos de Biodiesel mas 100 kilos de glicerina. Considerando solo los productos principales, tenemos que, en virtud del peso volumétrico del ester (0.9) con una tonelada de aceite se producen 1,167 litros de Biodiesel. En tal razón:

Costo primo del racimo de palma por litro de Biodiesel:
5 (487) – 5(31) 6.80 = 1,381
1,381/ 1167 = 1.18

Considerando el costo de extracción por tonelada de aceite crudo y abonando el valor del Palmiste:
[5 (487) + 839] – [5(31) 6.80] / 1167 = 1.90

En donde:
Rendimiento del mesocarpio de RFF en aceite = 200 kilos/ton RFF
Rendimiento del Palmiste en aceite = 31 kilos /ton RFF
Para producir una tonelada de aceite de mesocarpio se utilizan 5 toneladas de RFF y se obtiene también 155 kilos de aceite de Palmiste.

$ 487 es el costo total por ton de RFF, LAB planta
$ 839 es el costo de extracción del aceite de 5 toneladas de RFF del mesocarpio
$ 6.80 precio por kilogramo de aceite de Palmiste ya descontado su costo de extracción.
1,167 litros de Biodiesel obtenidos con una tonelada de aceite del mesocarpio.

Al comparar el precio del aceite crudo, referenciado en Rótterdam, con el costo primo de los frutos de la Palma y con el costo primo incluida la extracción del aceite, queda claro que el gran margen de utilidad se obtiene en el proceso de comercialización del producto. Es por ello, que la integración de los agricultores en toda la cadena de valor agregado es lo que haría posible en condiciones competitivas la ubicación de este producto en el mercado.

3. La Jatropha Curcas L. (Familia de las Euforbeaceas)

México, en su biodiversidad, también alberga a esta noble planta nativa del país, conocida como Piñón o Piñoncillo.

Se le localiza en climas tropicales y semi-tropicales, es un arbusto-árbol que llega a medir de 1 a 8 metros y se desarrolla en altitudes que van de 5 a 1,500 msnm. Crece en suelos pobres y arenosos, es resistente a la sequía y la semilla posee un importante contenido de proteína y de grasa. Se cultiva en India, África y Centroamérica para obtener Biodiesel. No se cultiva en México.

La Jatropha se conoce en la Península de Yucatán como “Sikil-Te” y se distribuye en Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora.

En México no hay conocimientos ni experiencia sobre la Jatropha cultivada, en tal virtud, tomaremos para el presente análisis las experiencias de otros países principalmente Nicaragua, en donde ya existen las plantaciones y la Agroindustria.

La planta empieza a producir desde el primer año, aunque con rendimientos moderados y éstos se incrementan durante los primeros cinco años y luego se estabilizan, con vida útil que puede

alcanzar hasta 50 años. Nosotros hemos considerado un modelo cuya vida útil llega a 23 años con 21 de producción comercial.

El rendimiento por hectárea, ya estabilizado en este modelo es de 5 toneladas de semilla seca por hectárea, de los cuales de 1.8 a 2 toneladas son de aceite y 3.255 toneladas de Torta rica en proteína (57%).

La Región Peninsular, elegida para el presente análisis, concretamente en el noreste de Yucatán, en las áreas conocidas como "Henequeneras" en el pasado, presenta las siguientes características:

Medio físico.- Zona Centro-Oriente.

Suelos arcillos, poco profundos, pero ricos en materia orgánica en donde el tipo de suelos Rendzina domina sobre el Litosol. La producción de henequén ha sido de las más altas de toda el área.

Las lluvias son principalmente en verano (800 mm) pero llueve en la época seca de invierno (120 mm).

La Geohidrología de la zona nos muestra una profundidad del manto acuífero de 6 a 20 metros y agua con altos contenidos de calcio (Bicarbonatos) provenientes de la disolución de las rocas calcáreas, con valores de salinidad que van de 400 a 1,200 ppm.

La clasificación del clima se expresaría así: Ax' (wo) (i') g. Cálido, sub-húmedo con lluvias intermedias, también en invierno. (Fuente: Instituto de Geografía UNAM 1993)

Los terrenos son planos, con baja altura sobre el nivel del mar y sería posible si se planifica el modelo con altos rendimientos de semilla y calidad de ésta, introducir el riego "con manguera" a la usanza tradicional de los agricultores de la zona, para el cultivo de sus hortalizas y frutales.

3.1 Composición de la semilla de Jatropha Curcas

	% en peso
Agua	6.6
Grasa	38.0
Carbohidratos totales	32.5
Proteína	18.2
Cenizas	4.0

Fuente: Purdue University 1983

3.2 Análisis económico sustantivo

En los 24 años de vida útil del proyecto, se cosecharán 102.34 toneladas de semilla seca por hectárea, con una población de 1,111 plantas por hectárea (3m x 3m), obtenida a través de semilla o de esqueje. Según se expresa a continuación.

Producción de semilla seca, torta ganadera proteica, aceite y Biodiesel, por año, por hectárea. Durante 21 años.

Año	Semilla kg/ha	Torta kg/ha	Aceite kg/ha	Biodiesel lts/ha
3	3,340	2,174	1,166	1,449
4	4,000	2,604	1,396	1,735
5	5,000	3,255	1,745	2,168
6-24	90,000	58,590	31,410	39,030
Totales	102,340	66.623	35,717	44,382

3.3 Costo de la plantación y mantenimiento del cultivo por hectárea, en la vida útil del proyecto

Semilla	992
Planta vivero	992
Preparación del terreno definitivo (m.obra)	2,060
Siembra	257
Subtotal	4,201
Costo de cultivo	
Chapeos (2 al año) dos años	2,000
Chapeos (1 al año) 21 años	21,000
Cultivos y podas 21 años	13,650
Combate de plagas 23 años	6,900
Subtotal	43,550
Cosecha de fruta fresca ($150/ton)	
21 años (corte y acarreo)	101,316
Flete a la Agroindustria ($30/ton)	20,263
Costo total por hectárea (23 años)	169,430
Costo total por kilo de nuez seca	$ 1.66

3.4 Participación de la materia prima (Costo Primo) en la fabricación por litro de Biodiesel

En la práctica, una tonelada de nuez seca, produce 349 kilos de aceite más 651 kilos de torta.

Los 349 kilos de aceite producirán 436 litros de Biodiesel:

Costo de la semilla	1,660
Valor de la torta a la ganadería	(508)
Costo de la materia prima a Biodiesel	1,152
Costo Primo por litro de Biodiesel	$ 2.64

4. Frijol Soya (Glycine max L., Merril. Familia Leguminosas)

Planta anual de origen oriental, que prefiere para su buen desarrollo, veranos cálidos y húmedos. En México, se emplea como aceite para cocinar y la pasta, co-producto del proceso de extracción, como fuente de proteína en los alimentos balanceados para el ganado. Producto muy apreciado.

Su cultivo ha disminuido significativamente en nuestro país, casi ha desaparecido en la tecnología de riego y se produce de temporal, principalmente en el sur de Tamaulipas zona en la que en el año de 2004 se cultivaron 54,000 hectáreas.

La producción nacional alcanzó en ese año, 133 mil toneladas en 89 mil hectáreas cosechadas, 80 mil de temporal y sólo 9 mil 600 de riego, éstas también en Tamaulipas.

En Chiapas (Soconusco) y en San Luis Potosí hubo siembras de temporal en 12 mil y 11 mil hectáreas respectivamente en el año del 2004.

El rendimiento medio nacional, fue de 1,500 kilos por hectárea. Así, resulta obligado para nuestro país comprar en el exterior, grandes cantidades de frijol soya y de pasta: del grano importamos en el ciclo 2004-05 tres y medio millones de toneladas y se proyecta importar seis millones para el ciclo 2015-2016.

Cabe mencionar que en los Estados Unidos de América la producción de Soya del ciclo 2004-05, fue de 85 millones de toneladas con un rendimiento de 2.84 toneladas por hectárea. En Brasil, la superficie destinada al cultivo de la soya en el 2004, fue de aproximadamente 21 millones de hectáreas.

Fuente: Sagarpa anuario estadístico de la producción agrícola 2004
USDA Baseline Agricultural Outlook forum. Marzo 2006.

Para el propósito del presente análisis, conviene mencionar nuevamente que México importa grandes volúmenes de oleaginosas y podemos afirmar, que nuestra producción debe considerarse ya como marginal.

En tal virtud, el cultivo de la soya para propósitos de producción de Biodiesel, debería dirigirse a la promoción y desarrollo de este cultivo en áreas de temporal de la Región Huasteca, estados de Tamaulipas, San Luis Potosí y norte de Veracruz, en donde se pueden encontrar amplias superficies (más de un millón de hectáreas) muy probablemente propias en suelo y lluvia para los cultivos bioenergéticos, aún combinando soya de verano con cártamo de invierno de humedad.

El campo experimental INIFAP de Cd. Cuauhtémoc, municipio de Altamira, Tamaulipas, ha encontrado muy buenas variedades, prometedoras de altos rendimientos potenciales (variedades Huastecas 200, 300 y 400) bajo condiciones de buen temporal entendido como cantidad y distribución de la lluvia.

Actualmente en la zona de Altamira y parte de González, sur de Tamaulipas, con variedades de origen Brasileño, la productividad de la soya de temporal (siembras de junio) alcanza las dos toneladas por hectárea.

4.1 Composición del grano de Soya

	% en peso
Agua	6.0
Aceite	18.0
Proteína	38.0
Fibra	8.0
Carbohidratos solubles	14.0
Carbohidratos insolubles	14.0
Cenizas	2.0

Una tonelada de granos de soya con 6 – 8 % de humedad, al procesarse, produce aproximadamente 200 litros de aceite y 800 kilos de torta o pasta, la cual contiene del 44 al 47% de proteína, o sea alrededor de 360 kilos.

Los 200 litros de aceite al esterificarse con Bioetanol y sosa potásica como catalizador, producirán 220 litros de Biodiesel.

En cuanto a la pasta de soya con 45% de proteína, alcanza un precio de aproximadamente 2,155 pesos por tonelada o sea $4.79 por kilo de proteína y por ello los 800 kilos de pasta que se derivan de una tonelada de frijoles, aportarán un valor de 1,724 pesos, que se abonaran al costo de producción de los granos de soya, que se calcula enseguida.

4.2 Costo de cultivo y cosecha de la Soya (Tecnología de temporal en el sur de Tamaulipas)

Ciclo PV 2005-05. (sin renta de tierra) Por hectárea.

Preparación del terreno	$ 1,140
Siembra	845
Fertilización	471
Labores culturales	460
Control de plagas	450
Cosecha	410
Total costos directos	3,776
Costos indirectos	936
Costo total	4,712

Fuente: INIFAP

4.3 Análisis económico sustantivo

Costo de producción por hectárea	$ 4,712
Rendimiento 2 toneladas por hectárea	
Costo de producción por tonelada	2,356
Precio de venta por tonelada	3,000
Margen por tonelada	644
Relación Beneficio-costo	1.24
Rendimiento por peso invertido	1.39

4.4 El costo primo de la Soya en la producción de un litro de Biodiesel.

Costo del frijol Soya 1,000 kilos	$2,356
Valor de la pasta de Soya	(1,724)
Costo de la materia prima a Biodiesel	632
Biodiesel producido (litros)	220
Costo Primo por litro de Biodiesel	$ 2.87

5. Colza (Brassica napus L)

En los dos ciclos del año 2004, se cosecharon en México 1,228 hectáreas, de las cuales 837 fueron de temporal (secano) y 371 de riego.

Su rendimiento medio fue de : en riego 2,126 kilos por hectárea; en temporal 1,537 kilos por hectárea. El precio medio rural fue de $3,489.00 por tonelada.

Los estados productores fueron: Tamaulipas, Jalisco, Tlaxcala y México.

En el año del 2005 se incorporó Guanajuato a la producción bajo riego, en el ciclo otoño invierno 2005-06.

5.1 Análisis económico sustantivo en la zona de Cortazar, Gto, ciclo otoño-invierno 2005-2006

El costo de producción fue de $5,700 por hectárea con financiamiento y maquinaria propios.

La semilla provino de Canadá, variedades Excell y Jayola (precoz). El precio de la semilla fue de $100.00 por kilo y se sembraron 6 kilos por hectárea (por el tamaño tan pequeño de la semilla, los agricultores no pudieron sembrar la cantidad recomendada de 3 kilos por hectárea, ni con sembradora de precisión).

El problema principal del cultivo fue la dehiscencia de la semilla, ya que al meter la máquina trilladora se tira mucha, hasta más de una tercera parte de lo producido, según estimación de los agricultores.

El rendimiento recuperado fue de 1,600 kilos por hectárea y el precio del producto de $ 3,200.00 por tonelada LAB el rancho y a granel.

Lo más importante de las experiencias recogidas para este trabajo es que la Colza necesita poco agua para lograrse; por ejemplo, en la región de El Bajío, las variedades precoces en otoño-invierno se cultivan con dos riegos, uno de presiembra y uno de auxilio en suelos arcillosos (vertisoles, típicos de la región) en el lapso diciembre abril y desde luego en nuestro país, la adaptación de cultivos con poca demanda de agua, son siempre de gran interés.

El trigo en la región, en las mismas condiciones de ciclo, suelo y lugar demanda de cinco riegos, más pesados y rinde 5 toneladas de grano por hectárea, pero su costo de producción es mucho mayor.

5.2 Análisis del cultivo en el Valle de Yaqui, Sonora

También se analizó para este trabajo, la experiencia del Valle del Yaqui, Sonora, en el ciclo otoño-invierno 2005-06, obviamente con riego.

Este trabajo se hizo en virtud de que no se presentó tan agudo el problema de la dehiscencia.

Los resultados fueron los siguientes:

- Rendimiento 2,300 kilos por hectárea
- Precio del producto al agricultor $ 2,890.00 por tonelada

Concepto	$ por hectárea	$ por tonelada
Ingreso por venta	6,647	2,890
Subsidio PROCAMPO	963	418
Subsidio Comercialización	1,390	604
Costo de producción y cosecha	6,529	2,839
Margen	2,471	1,073

- Relación Beneficio-costo 1.38
- Rendimiento por peso invertido 1.61

5.3 Composición de la Semilla de Colza.

La semilla de Colza contiene entre 380 y 400 kilos de aceite y entre 180 y 200 kilos de proteína por tonelada y al procesarla por el método de Presión, no de Solventes, se obtienen 369 kilos de aceite crudo y aproximadamente 500 kilos de Torta o Pasta con 200 kilos de proteína.

Los 369 kilos de aceite al esterificarse con Bioetanol, producirán 387 kilos de Biodiesel, es decir aproximadamente 460 litros. Así, los productos principales de la transformación de una tonelada de semilla, serían:

460 litros de Biodiesel
500 kilos de torta o pasta con 40% de proteína.

5.4 El Costo primo de la semilla de Colza en la producción de un litro de Biodiesel

Costo de la semilla 1,000 kilos	$ 2,839
Valor de la pasta (200 kilos x $2.50)	(500)
Costo de la materia prima a Biodiesel	2,339
Costo primo por litro de Biodiesel (2,339 / 460)	$ 5.08

6. Cártamo (Carthamus tinctorius L)

En el año de 2004, se cosecharon en México 212,000 hectáreas, de las cuales 122,686 fueron de riego, de alcance relevante en Sonora (105,000 has) con un rendimiento de 1,400 kilos por ha.

En la tecnología de temporal, Tamaulipas cosechó 56,000 has con un rendimiento de 420 kilos por ha. El precio medio rural fue de $ 2,354 por tonelada.

6.1 Análisis económico del Cártamo en el Valle del Yaqui, Sonora

En el año de 2005, el resultado económico para los productores de Sonora con tecnología de riego, fue como sigue:

- Rendimiento del cultivo 2.5 toneladas por hectárea
- Precio de venta de $ 3,360 por tonelada.

Concepto	$ por hectárea	$ por tonelada
Ingreso por venta	**8,400**	3,360
Subsidio PROCAMPO	963	385
Subsidio a la comercialización	1,200	480
Total de ingresos	10,563	4,225
Costo total de producción y cosecha	7,188	2,875
Margen	3,375	1,350

- Relación Beneficio-costo 1.47
- Rendimiento por peso invertido 1.69

6.2 Composición de la semilla de Cártamo

La semilla contiene por kilo, 280 gramos de aceite y 126 gramos de proteína (además 500 gramos de carbohidratos totales, 43 gramos de cenizas y 48 gramos de agua). Así, de una tonelada de semilla de cártamo se producen aproximadamente:

272 kilos de aceite
728 kilos de pasta que contienen 126 kilos de proteína, es decir el 17.3%

Los 272 kilos de aceite al esterificarse con Bioetanol producirán aproximadamente 285 kilos de Biodiesel, es decir 339 litros.

6.3 El costo primo de la semilla de cártamo en la producción de un litro de Biodiesel

Costo de la semilla por 1,000 kilos	$ 2,875
Valor de la pasta (126 kilos x $2.50)	(315)
Costo de la materia prima a Biodiesel	2,560
Costo primo por litro de Biodiesel (2,560 / 339)	$7.55

7. Girasol (Helianthus annuus L)

En México, en el año de 2004 se cosecharon 90 hectáreas de Girasol, con un rendimiento en semilla, de 2.58 toneladas por hectárea. De esta superficie, 70 hectáreas se cultivaron de riego, principalmente en Chihuahua. El precio medio rural fue de $ 3,129.00 por tonelada.

7.1 Análisis económico sustantivo

El costo de producción por hectárea de temporal, para el ciclo primavera-verano 2005 en la zona centro del estado de Tamaulipas, fue de $3,550. El rendimiento de 1,500 kilos por hectárea y el precio al agricultor de $ 3,200 por tonelada.

Concepto	$ por hectárea	$ por tonelada
Ingresos por venta	4,800	3,200
Subsidio Procampo	963	642
Total de ingresos	5,763	3,842
Costo total de producción y cosecha	3,550	2,367
Margen	2,213	1,475

- Relación Beneficio-costo 1.62
- Rendimiento por peso invertido 2.02

7.2 Composición de la semilla

La semilla de girasol, en base seca, en peso, se compone de 42% de aceite; 16% de proteína y 40% de fibra. Así, de una tonelada de semilla se obtienen extrayendo por Presión:

387 kilos de aceite y 613 kilos de pasta, ésta con 160 kilos de proteína, es decir, el 26%.

Los 387 kilos de aceite al esterificarse con Bioetanol, producirán aproximadamente 405 kilos de Biodiesel, es decir, 482 litros.

7.3 El costo primo de la semilla de girasol en la producción de un litro de Biodiesel

Costo de la semilla de girasol 1,000 kilos	$ 2,367
Valor de la pasta (160 x $2.50)	(400)
Costo de la materia prima a Biodiesel	1,967
Costo primo por litro de Biodiesel (1,967 / 482)	$ 4.08

8. Resumen de los Costos Primos de cultivos potenciales para la producción por litro, de Biodiesel en México

Palma Africana o de aceite	$ 1.18
Jatropha o Piñoncillo	2.64
Frijol Soya	2.87
Colza	5.08
Cártamo	7.55
Girasol	4.08

9. Bibliografía

Austrian National-Engineering University and Ministerio de Energia de Nicaragua. “Agro-Industrial Exploitation of Physic Nut.1997.

CATEDES. “Aceites vegetales; Biodiesel-Jatropha curcas.

Comision Nacional Forestal. “La Bioenergía en México.

FAO. “Oil seed processing technologies adoption survey – Southern Province of Zambia”.2002

Gobierno de Finlandia, Centroamerica y AEA. “Generación de combustibles renovables proveniente del aceite producido en plantas de Jatropha curcas L”. 2005

Gobierno de Yucatán;CONACYT; UAY;INIFAP. “Meniruas de ka conferencia Nacional sobre el Henequén y la zona henequenera de Yucatán. 1993.

Instituto de Investigaciones Agricolas y Pecuarias. INIFAP. “Tecnología para la producción de la Palma de Aceite. Elaeis guineensis Jacq, en Mexico.” 1999.

InfoAserca.”Coberturas: Soya, aceite, pasta 2006”

International Energy Agency. IEA. “Biofuels for transport an international perspective” Paris, France. 2004

Lele, Satish. “India’s Biodiesel Scene. 2005

Oliver Probst. “El Biodiesel como alternativa limpia y renovable para el transporte” ITESM. 2001.

Purdue University. “Jatropha curcas L. Handbook of energy crops” 1983

SAGARPA-Gobierno del Estado de Campeche. “Manual del cultivo de la Palma de Aceite en el Estado de Campeche” 2004.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. SAGARPA.”Anuaria estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos” 2004

Sesee y Muciño. “Plantae novae hispaniae”.Mexico 1893.

UNIVAS. “Proyecto Biodiesel”.Oaxaca, Mexico. 2004.

Task C: Biodiesel production and end-use in Mexico: current and future (Scenario Building)

Task D: Potentials in relation to sustainability criteria

Task E: Rationales, drivers and barriers for biodiesel market introduction

Task F: Synthesis and recommendations

Daniela Thrän, Oliver Probst, Michael Weber, Franziska Müller-Langer

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

gtz

Contents

LIST OF TABLES III

LIST OF FIGURES IV

LIST OF ABBREVIATIONS 6

1 INTRODUCTION 1

2 MEXICAN FRAMEWORK FOR BIODIESEL 5

2.1 Legal framework 5
2.1.1 Biofuels national targets 5
2.1.2 Fuel production, specifications and commercialization policies 6

2.2 Current biodiesel capacities and research capabilities 7
2.2.1 Biodiesel production at Grupo Energéticos 8
2.2.2 Biodiesel activities at Tecnológico de Monterrey (ITESM) 9
2.2.3 Biodiesel project at Universidad Vasconcelos de Oaxaca 10
2.2.4 Biodiesel project of the State Government of Michoacán 11
2.2.5 Other activities 12

3 TECHNICAL FEASIBILITY ANALYSIS 13

3.1 Feedstock requirements 14
3.1.1 Characteristic properties 15
3.1.2 Vegetables oils 18
3.1.3 Animal fats and fish oils 19
3.1.4 Recycled or waste oils 19

3.2 Biodiesel production process 20
3.2.1 Auxiliary substances 22
3.2.2 Feedstock preparation 24
3.2.3 Biodiesel production 25
3.2.4 Reference concepts 27

3.3 Product quality of biodiesel 33
3.3.1 International biodiesel standards 33
3.3.2 Factors of influence on the biodiesel quality 34

3.4 Biodiesel distribution and use 37
3.4.1 Generalities 38
3.4.2 Experiences and recommendations 38
4 ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS 41
4.1 Methodical approach 41
4.1.1 Calculation model 41
4.1.2 Frame conditions 42
4.2 Biodiesel production costs and economic efficiency 50
5 POTENTIALS IN RELATION TO SUSTAINIBILITY CRITERIA 56
5.1 Economic aspects of biodiesel production 56
5.1.1 Global and national mineral oil market 56
5.1.2 Global and national vegetable oil market 57
5.1.3 Institutional and Legal 60
5.2 Environmental aspects of biodiesel production 61
5.2.1 Life cycle assessment 61
5.2.2 Biodiesel emission 66
5.2.3 Loss of biodiversity 67
5.2.4 Soil erosion and other soil degradation 68
5.2.5 Water use and water contamination 68
5.3 Social aspects of biodiesel production 69
5.3.1 Employment aspects 69
5.3.2 Food security 69
5.3.3 Land ownership 70
5.3.4 Labor conditions and rights of children 70
6 SCENARIO BUILDING AND ANALYSIS 71
7 RATIONALES, DRIVERS AND BARRIERS FOR BIODIESEL MARKET INDRODUCTION 77
8 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS 81
REFERENCES 85
APPENDIX 90

LIST OF TABLES

Tab. 3-1 Feedstock parameters and their relevance for biodiesel production and use (IE, 2006) 17

Tab. 3-2 Average crops and oil yield for mechanical and solvent extraction 25

Tab. 3-3 Production technology manufacturer 28

Tab. 3-4: Process data of the reference concepts 32

Tab. 3-5: International quality standards for biodiesel (FBDS, 2005, EnAu, 2003) 34

Tab. 4-1 Total capital investment (average) reference concepts (IE, 2006) 44

Tab. 4-2 Feedstock prices or costs respectively (Lazcano, 2006; ITSEM, 2006; IE, 2006) 46

Tab. 4-3 Wholesale prices auxiliary substances (Methanex, 2006; IE, 2006) 47

Tab. 4-4 Receipts for press cake (SNIIM, 2006; Lazcano, 2006) 48

Tab. 6-1 Scenarios on potential biodiesel demand 71

Tab. 6-2 Required, current and potential agricultural area for different oil crops 72

Tab. 6-3 Economic and ecological effects 74

LIST OF FIGURES

Fig. 1-1 Structure of the project 1
Fig. 1-2 Sustainability criteria 2
Fig. 1-3 Dynamics of the biodiesel market 4
Fig. 2-1 General view of the biodiesel plant in Cadereyta (ITSEM, 2006) 8
Fig. 2-2 Biodiesel plant devices (top: tallow storage, conversion reactor, centrifuge; buttom: biodiesel/glycerin phase separation, methanol recovery, Grupo Energéticos' service fleet) (ITSEM, 2006) 9
Fig. 2-3 General view of the biodiesel pilot plant ITSEM 9
Fig. 2-4 Biodiesel use (top: emergency generator, VW Jetta, Diesel engine, buttom: student transport bus) (ITSEM, 2006) 10
Fig. 2-5 Biodiesel facility (left) and B-20-bus (right) of the Universidad Vasconcelos de Oaxaca (ITSEM, 2006) 11
Fig. 2-6 Castor plants (ITSEM, 2006) 11
Fig. 3-1 Feedstock supply and biodiesel production (IE, 2006) 14
Fig. 3-2 Exemplary composition of a triglyceride (UFOP, 2004) 15
Fig. 3-3 Fatty acid profile of different feedstocks (Tyson & McCormick, 2006; IE, 2006) 16
Fig. 3-4 Chemical reaction of biodiesel production (Markolwitz, 2004) 20
Fig. 3-5 General scheme of the biodiesel production (IE, 2006) 21
Fig. 3-6 Closed loop recycling management of agricultural oil mill-biodiesel plant 29
Fig. 3-7 Reference concept I: agricultural oil mill-biodiesel plant (annex plant) 29
Fig. 3-8 Reference concept II: Industrial oil mill-biodiesel plant (annex plant) 30
Fig. 3-9 Reference concept III: Industrial biodiesel plant 31
Fig. 3-10 Reference concept IV: Industrial multi-feedstock biodiesel plant 32
Fig. 3-11 Relation between content of saturated fatty acids in biodiesel (without additives) and its CFPP value (Hilber, 2005) 35
Fig. 3-12 Iodine values of biodiesel derived from different types of oils/fats (Hilber, 2005; EnAu, 2003) 36
Fig. 3-13 Biodiesel distribution and end-use 37
Fig. 3-14 Long-term effects of oxidation stability (left) or soap deposition (right) on injection pumps (AGQM, 2006) 40
Fig. 4-1 Calculation model for biodiesel production cost 42

Fig. 4-2 Price evolution of crude and pharmaceutical grade glycerin on the world market 49
Fig. 4-3 Biodiesel production costs (PEMEX diesel for comparison, * exclusive taxes and duties) 51
Fig. 4-4 Sensitivity analysis – biodiesel from jatropha in agricultural scale 52
Fig. 4-5 Sensitivity analysis – biodiesel from soy beans in industrial scale 53
Fig. 4-6 Sensitivity analysis – biodiesel from palm in industrial scale 53
Fig. 4-7 Required biodiesel sales prices for economic efficient biodiesel production plants (IRR of 20%; PEMEX diesel including tax and duties) 55
Fig. 5-1 Development of the diesel production and demand for the years 1994 to 2014 in Mexico (SENER, 2006) 57
Fig. 5-2 Global market for oilseeds in 2005 58
Fig. 5-3 Worlds projected consumption on vegetable oils 59
Fig. 5-4 Mexican market for oilseeds and products - import and exports (USDA, 2006; IE, 2006) 60
Fig. 5-5 Structure of LCA (DIN EN ISO 14044) 62
Fig. 5-6 Process chain of biodiesel provision 63
Fig. 5-7 Primary energy demand of biodiesel production an arable land – Well to tank (estimated figures) 64
Fig. 5-8 Greenhouse gas emissions of biodiesel production an arable land – Well to tank (estimated figures) 65
Fig. 5-9 Greenhouse gas emissions of biodiesel production an arable land – Well to wheel (estimated figures) 66
Fig. 5-10 European emissions limits for regulated exhaust components of diesel powered passenger cars (Dieselnet, 2006) 67
Fig. 6-1 Schematic illustration of the potential location for industrial and agricultural transesterfication plants 72
Fig. 6-2 Biodiesel implementation strategy for Mexico 76

LIST OF ABBREVIATIONS

% vol	Percent per volume
°C	Degrees Celsius
AN	National Petroleum Agency
ANP 255	Brazilian biodiesel standard
ASTM 6751	U.S. biodiesel standard
AVU	Campaña Permanente de Recolección de Aceite Usado
bbl	barrel
Bd	Biodiesel
B-x	Mix ration of biodiesel in mineral diesel
CETES	Certificados de la Tesorería de la Federación
CFE	Federal Commission of Electricidad
CFPP	Cold filter Plugging point
CFR	cost and freight
CH_2	Carbon dioxide
CH_3OH	Methanol
CP	Cloud point
d	day
DE	Diesel equivalent
EN 14214	European biodiesel standard
EU	European Union
FAME	Fatty acid methyl ester
FFA	Free fatty acids
Fig.	Figure
h/a	Hours per year
H_2SO_4	Sulfuric acid
H_2SO_4	Hydrogen sulfide
ha	hectare
IE	Institute for Energy and Environment gGmbH
IPN	Instituto Politécnico Nacional
IRR	Internal rate of return

ITESM	Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey
KOCH3	Potassium methylate
KOH	Potassium hydroxide
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt hour
m^3/month	Cubic meter per month
MW	Megawatt
MWfuel	Megawatts of fuel
MX$	Mexican peso
MX$/$m^2$	Mexican pesos per cubic meter
$NaOCH_3$	Sodium methylate
NaOH	Sodium hydroxide
NOX	Nitrogen oxides
PEMEX	Petroleos Mexicanos
PM	Particulate matter
PME	Palm oil methyl ester
PP	Pour point
ppm	Parts per million
R&D	Research and development
RME	Rape seed methyl ester
SEMARNAT	Secretary of Environment and Natural Resources
SENER	Secretary of Energy
SME	Soy bean methyl ester
t	metric tons
t/a	Tons per year
Tab.	Table
U.S.	United states of America
VW	Volkswagen

1 INTRODUCTION

The comprehensive objective of this study is to assess the feasibility of biodiesel as transportation fuel within the Mexican economy. Recommendations in terms of market strategies for the implementation of biodiesel will be deduced from the results of the intended tasks. A general overview of these tasks (or work packages) is given in the following scheme (Fig. 1-1).

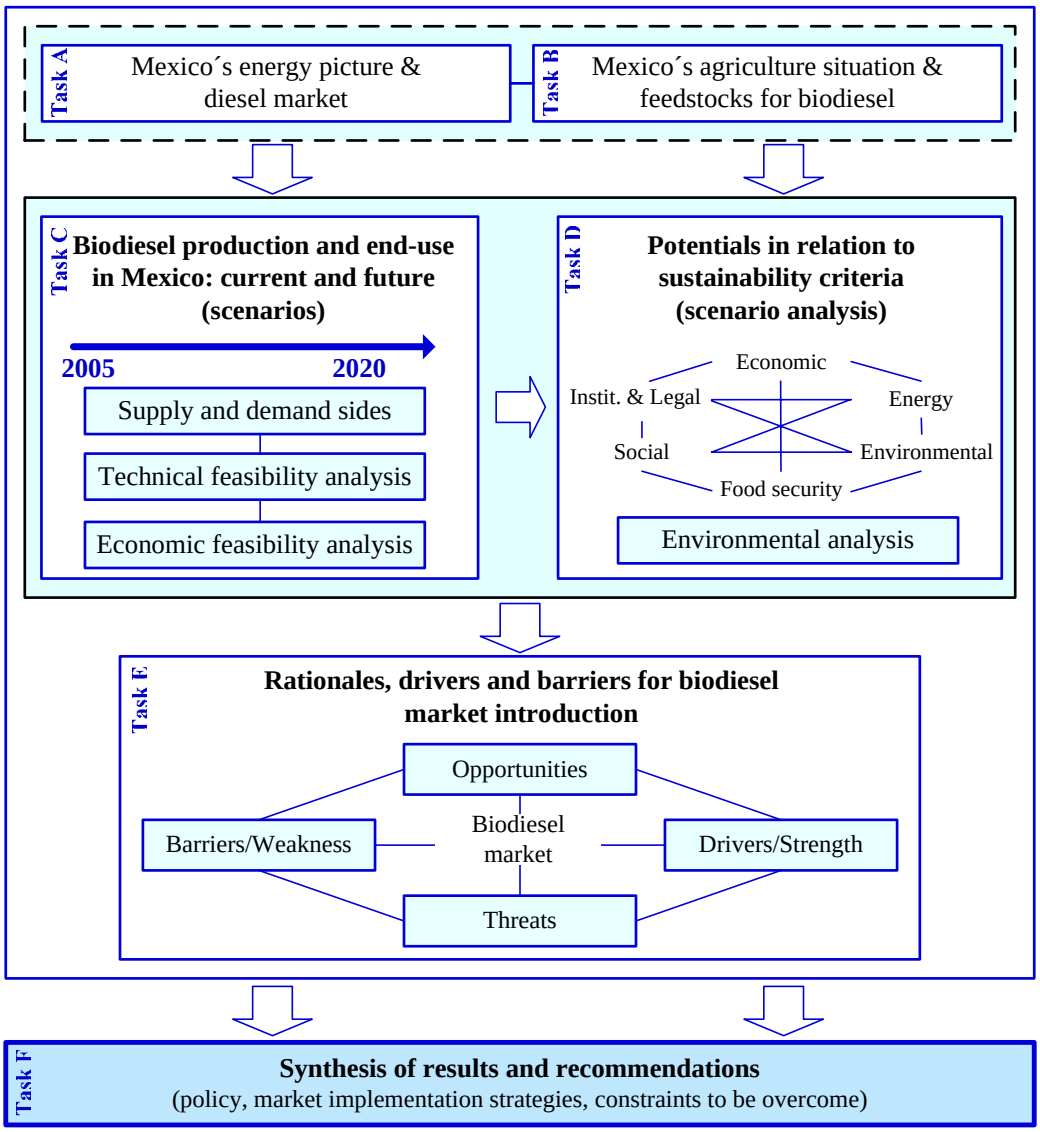


Fig. 1-1 Structure of the project

An overall context for biodiesel use in Mexico is given within Task A and Task B that involve issues of Mexico's energy mix with an emphasis on (bio)diesel as well as of the national agricultural situation related to feedstock sources for biodiesel production (IMP, 2006;

Lazcano, 2006). These results and elaborated data are the baseline for the Task C to Task F, whose objectives are described in more detail below.

The aim of Task C is the elaboration of scenarios with regard to the potential demand of biodiesel for end-use. The development of the different scenarios will be carried out for different production plant scales, feedstocks and the use of different biodiesel blends. The required capacities of biodiesel plants, the corresponding distribution infrastructure are foreseen as results.

- **Mexican framework for biodiesel**, i.e. legal framework and supply side analyses - available capacity of biodiesel plants and research capabilities in Mexico (chapter 0).
- **Technical feasibility analysis,** i.e. detailed description of overall concepts and their process specific system elements for the production of biodiesel based on different feedstocks and plant capacities (e.g. small and large scale) (chapter 3).
- **Economical feasibility analysis,** i.e. based on the reference concepts defined in the technical feasibility analysis the overall costs for biodiesel production (i.e. all expenditures and revenues) will be analyzed under Mexican frame conditions (chapter 4)

For the holistic analysis of the developed scenarios of Task C the whole supply chain is investigated in Task D (chapter 5) with respect to sustainability criteria (Fig. 1-2) in order to make qualitative estimation regarding their interdependence, potential impacts and opportunities of mitigation.

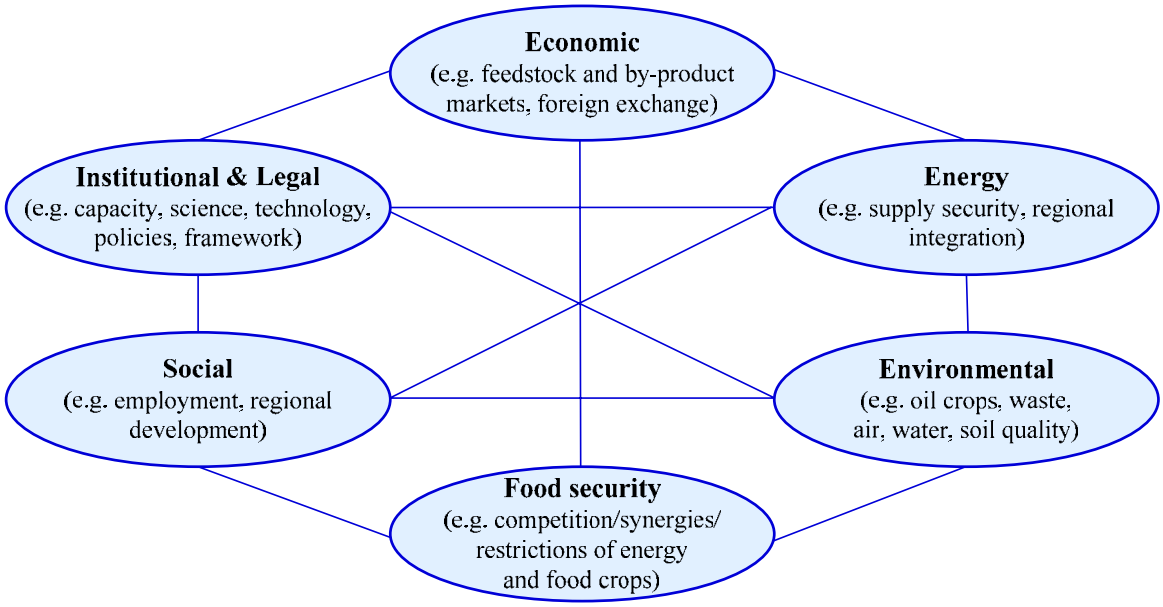


Fig. 1-2 Sustainability criteria

In addition to the technical and economic feasibility analysis (Task C), the environmental analysis will be further focused on air, water and soil quality related to the use of biodiesel. These aspects are investigated qualitatively, based on existing studies of air quality (e.g. with

regard to exhaust emission levels). Possible conflicts between the estimated effects of a wider use of biodiesel and current Mexican legislation and regulations will be identified.

The environmental effects of biodiesel are not limited to its end-use or the production process. Substantial environmental effects may also occur within other stages of the supply chain (i.e. pre-chains). To evaluate such effects, a "life cycle assessment" (LCA) will be conducted. The instrument of LCA comprises the consideration of several impact categories. In this study only greenhouse gas (GHG) emissions of biodiesel production, distribution and use will be balanced for the reference concepts. The required basic assumptions for the LCA, such as energy mix (e. g. electricity and transport), cultivation methods (e. g. nutrients, crop rotation etc.) for oil seeds, production chains for animal fats will be taken from the results of Task A and B.

Based on the results of the prior tasks, chapter 0 is focused on the development of reliable scenarios for the implementation of biodiesel as transportation fuel on the Mexican market. As core results detailed information on supply and demand scenarios of biodiesel as well as on the technical and economic feasibility of biodiesel production and use in Mexico are provided.

With emphasis to e.g. economic, energy, environmental, social, legal aspects (Task E) and their interdependencies for the market implementation of biodiesel specific barriers (that have to be overcome) and drivers (that have to be further encouraged) will be identified and discussed in chapter 0. Furthermore, opportunities and threats have been analyzed. These parts of a so called SWOT analysis (i.e. strength, weakness, opportunities and threats) will also be used to sharpen the view on required instruments for the successful implementation of biodiesel in the forthcoming years (Fig. 1-3).

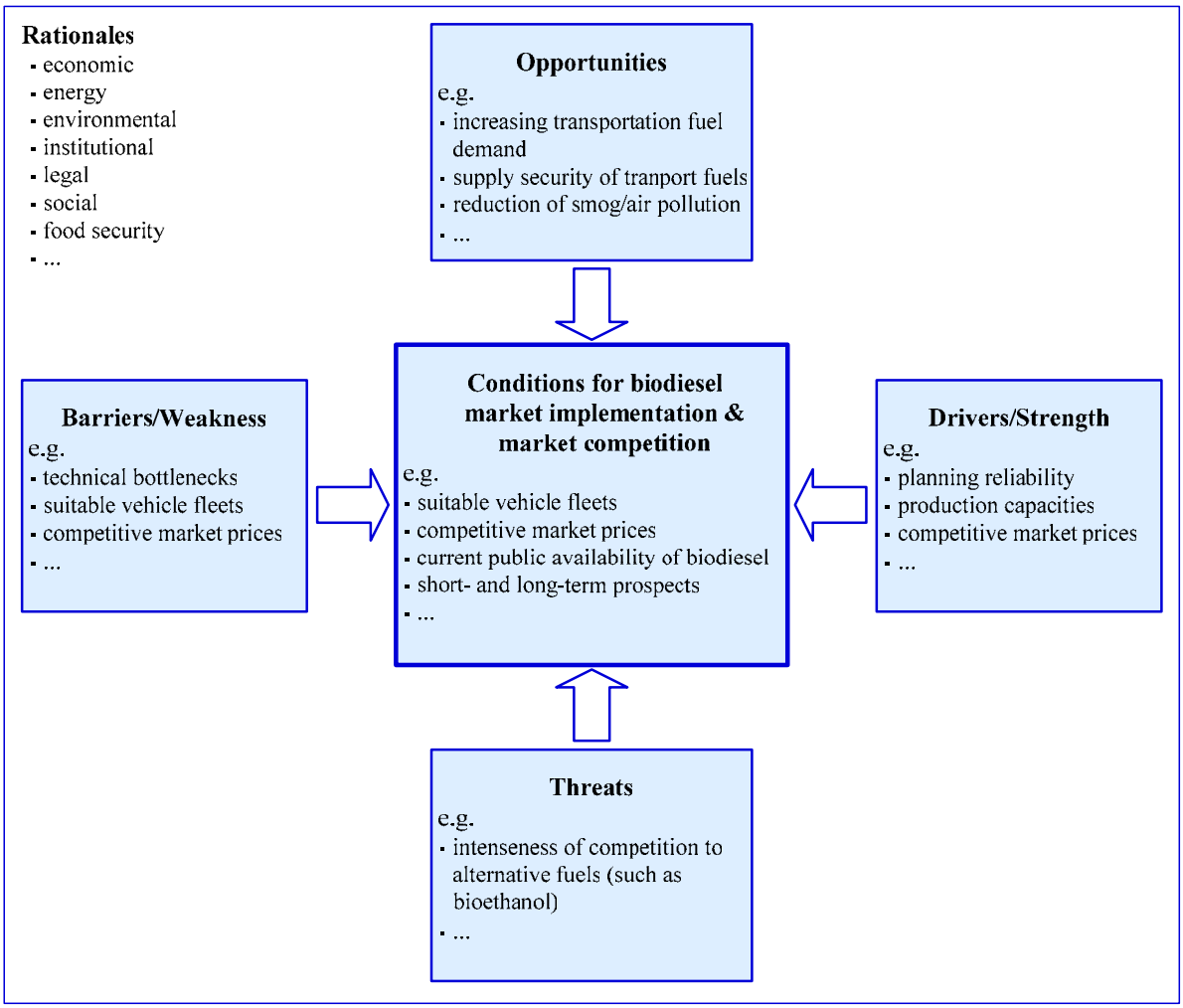


Fig. 1-3 Dynamics of the biodiesel market

2 MEXICAN FRAMEWORK FOR BIODIESEL

Previous to the fundamental technical and economic analysis the Mexican framework is considered with regard to the legal framework for biodiesel production and use as well as the existing biodiesel capacities and research activities. The legal framework is discussed in addition to the comprehensive overview made in Task A or Task 2 (IMP, 2006).

2.1 Legal framework

2.1.1 Biofuels national targets

In spite of the large interest of biofuels promotion in the country, there is no adequate legal framework, which elaboration has at this time the attention of Mexican politicians. The Chamber of Deputies of México approved on February 2006 a project of law called "Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos" (i.e. law of promotion and development of bioenergetics), which will establish general definitions and policies for bioenergetics in México. The law will define special policies to promote biofuels in México. The objectives of this law will be addressed to (Senado, 2006b):

- the diversification of fuels in the country,
- the support of the sustainable rural development and production chains,
- the cooperation with the Kyoto Protocol,
- the improvement of the air quality of the country,
- the legalization renewable energy sources,
- the fight against poverty and marginalization in rural areas.

The law will be applicative to all biofuels or biocombustibles obtained from biomass and non toxic residues. A presently available draft of this law (TrabsEnergética, 2006) already includes basic fundamentals for bioenergy and with special regard to biodiesel, e.g.

- *in article 2*. the definition of biofuels or biocombustibles respectively with regard to production technologies and used feedstocks; i.e. for biodiesel production via transesterification of fatty acids (e.g. vegetable oil and fatty products)
- *in article 10*. the promotion of cultivation of feedstocks for biofuel production within the agricultural sector; i.e. for biodiesel oil crops
- *in article 13*. the establishing of programs of regional, state and municipal character for the suitable handling of plantations for the production of oil crops for the generation of biodiesel by the intersecretarial commission for the rural development
- *in article 15*. the elaboration of the schedule and percentage of the application and use of biodiesel in the petrodiesel fuel
- *in article 31*. the R&D of agricultural cultivation, the mechanized harvesting and the transport of vegetable oil from oil crops for biodiesel

However, regarding biodiesel feedstocks, the use of animal fats (i.e. tallow) and waste vegetable oils (i.e. grease) is currently not foreseen within this law and probably need to be addressed with regard to the existing biodiesel capacities (cf. section 2.2).

The new law is elaborated by the Intersecretarial Commission consisting of the Secretary of Energy, PEMEX and the Federal Commission of Electricidad (CFE) that develop a national strategy for the development of "bioenergéticos" and to promote the decentralization of programs, resources and functions, in accordance with the applicable Law of Development and other legal dispositions. This agreement and coordination agency also will have to its position to propose the policies, programs and instruments for the support, promotion, productivity, regulation and control of bioenergy.

As mechanisms to achieve those goals the new amendment will establish the necessary policies to strengthen (i) the investigations and technology transfer related to biofuels, (ii) bonus, taxes exemptions and subsidizes to the companies or institutes working in the field of bioduels, (iii) bonus, taxes exemptions and subsidizes for the production chains related to biofuels, (iv) the elaboration of biofuels targets for the country in coordination with the different sectors (Cámara de Diputados, 2005). The initiative is at this time in the phase of final corrections and approval in the Deputies chamber (Senado, 2006a).

2.1.2 Fuel production, specifications and commercialization policies

2.1.2.1 Biodiesel

There is no especial regulation for bioenergetics or biodiesel in México. Those who want to produce it for captive have to regulate their projects and/or installations to the Mexican law of environmental protection (Poder Ejecutivo Federal, 1998). With regard to the current biodiesel capacities in México (cf. section 2.2) in terms of specified biodiesel standards there are no regulations. Thus, international standards (e.g. U.S. standard ASTM D6751, the European standard CEN EN 14214 and the Brazilian biodiesel fuel standards ANP 255) can be applied to ensure good quality biodiesel fuel used as blended fuel. However, national specifications should be established and included in the future under the national fuel regulations (NOM-086-ECO-1994) (section 3.3).

Moreover, at present there are no special regulations for the commercialization of biodiesel as B-100 or blend. According to the "Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo" the state (represented by "Petroleos Mexicanos", PEMEX) has the authority with regard to crude oil production and handling (cf. section 2.1.2.2) which will be also relevant for the implementation of biodiesel blends. Currently, blending commercialization could only occur through the Pemex Refinacion. However, similar to bioethanol, biodiesel will mainly be produced from agricultural products (i.e. oil crops and fruits) and thus not a derivate from crude oil. In this context the B-100 is not a restricted to PEMEX (IMP, 2006). Hence this article need to be adapted with regard to control mechanisms (e.g. for biodiesel quality and its destination) in order to avoid fraudulent practices or biofuel market segments out of control.

2.1.2.2 Diesel

As mentioned, according to the 27th article of the Mexican constitution, only the state has the faculty of extracting and processing the crude oil of the country as well as the transport, distribution and primary sell of the refining products. However, there is an interest of liberalisation the sector to the private investment. The state control is made through "Petroleos Mexicanos" (Pemex), a decentralize organism composed by four different corporative: "Pemex-Exploración y Produccion" (oil crude), "Pemex-Refinación" (refinery), "Pemex-Gas y Petroquímica Básica" (gas and basic petrochemical) and "Pemex-Petroquímica" (secondary petrochemical). The exploration, extraction, transportation and commercialization of primary hydrocarbons are done by the first sub organism whereas the crude oil refinement and the distribution and commercialization of processing products are made by "Pemex-Refinacion" (SPEDT, 2005). The transportation (e.g. via pipelines, railway, highways and marine transport) in the country of crude oil and crude oil process products can – with few exceptions – only be carried out by Pemex. The sales to the final consumer of automotive fuels, like diesel and gasoline, is made trough a franchise policy all over the country. Prices are fixed by the Mexican Treasury (SHCP) all over the country (Poder Ejecutivo Federal, 1994).

As mentioned, the specifications of diesel are established in the Mexican regulation NOM-086-ECO-1994. This is the official norm for production, importation and distribution of liquid and gaseous fossil fuels. Under that standard three different kinds of diesel are described, called (i) "Sin", (ii) "Desulfurado" and (iii) "Industrial". The differences between the first two are mainly in the sulphur concentration (i.e. max. 0.05 mass-% for Sin and max. 0.50 mass-% for "Desulfurado") the inflammation temperature and the carbon. The Industrial has for norm the same sulphur permissive concentration as the "Desulfurado", but a higher inflammation temperature and is only used in open burners for stationary industrial purposes. An important aspect in Mexican fuels specifications is the tendency to reduce the sulphur level in the next years due to technical, healthy and economical reasons. Secretary of Energy (SENER), Pemex and the Secretary of Environment and Natural Resources (SEMARNAT) have defined targets on the NOM-086 regarding sulphur reductions in diesel to 15 ppm until 2008 (SMARN, 2004).

2.2 Current biodiesel capacities and research capabilities

At present the known installed biodiesel capacities are limited to few small-scale plants with a total amount of approx. 3,300 t/a. Moreover, there are some research activities. Information on the different projects is given as follows.

2.2.1 Biodiesel production at Grupo Energéticos

Fig. 2-1 General view of the biodiesel plant in Cadereyta (ITSEM, 2006)

Based on a feasibility studies conducted at ITESM, Grupo Energéticos built México's first commercial biodiesel plant in Cadereyta Nuevo Leon (Monterrey) (Fig. 2-1). The capital investment of the small-scale demonstration plant was about 16 million MX$. The plant was inaugurated in July 2005 and uses beef tallow with an average content of free fatty acids (FFA) < 3 % as feedstock. The plant is run by two graduates from ITESM's biodiesel program with a current production level of 300 m³/month (approx. 3,200 t/a). The facility potential rounds about 600 m³/month. Currently the plant counts of 60 m³ storage capacity for biodiesel and is transported in pipes of 20 m³. Grupo Energeticos apparently develops another facility in the State of Oxaca.

Fig. 2-2 Biodiesel plant devices (top: tallow storage, conversion reactor, centrifuge; buttom: biodiesel/glycerin phase separation, methanol recovery, Grupo Energéticos' service fleet) (ITSEM, 2006)

2.2.2 Biodiesel activities at Tecnológico de Monterrey (ITESM)

Fig. 2-3 General view of the biodiesel pilot plant ITSEM

Tecnológico de Monterrey (ITESM) has been active in biodiesel research and demonstration projects since 1999. A batch pilot plant with a capacity of 200 liters was finished in late 2003 at a capital investment of approx. 200,000 MX$ (Fig. 2-3). ITESM's pilot plant excludes

methanol and wash water recovery, whereas Grupo Energéticos' commercial includes the corresponding facilities, which explains the differences in the specific investment costs. ITESM's plant was actually significantly more costly that the quoted value; the latter has been calculated based on operating experiences and actual quotations for fiberglass tanks and reactors (instead of recipients made of stainless steel). Moreover, the presently used centrifuge has been replaced by a heating stage for removal of wash water residues. The plant has been operating routinely since 2004 by using waste vegetable oil as feedstock and currently run at a capacity of about 8 m³/month (i.e. 84 t/a). The production currently fuels a student transport bus (in form of biodiesel blend B-20) and two (private) VW Jetta diesel cars owned by ITSEM staff. In addition – more relevant for power production – a peak-hour generation using a 220 kW Caterpillar emergency generator has been demonstrated using B-20 (Fig. 2-4). Current interests focus on the investigation of new feedstocks, process integration as well as up scaling of processes.

Fig. 2-4 Biodiesel use (top: emergency generator, VW Jetta, Diesel engine, buttom: student transport bus) (ITSEM, 2006)

2.2.3 Biodiesel project at Universidad Vasconcelos de Oaxaca

Since August 2004 the University Jose Vasconcelos in Oxaca has conducted experiments to produce biodiesel from waste vegetable oil. Promoted and supervised by its rector, Lic. Oswaldo García, biodiesel batch plant, designed by US of 150 liters was installed and runs on a capacity of 3.6 m³/month (approx. 38 t/a) capacity. According to their reports, they are also conducted B-20 probes in the urban bus of the University (Fig. 2-5).

Fig. 2-5 Biodiesel facility (left) and B-20-bus (right) of the Universidad Vasconcelos de Oaxaca (ITSEM, 2006)

2.2.4 Biodiesel project of the State Government of Michoacán

In cooperation with the Universidad Nacional Autónoma de México the state government of Michoacán has been promoting a biodiesel project originally based on castor oil (i.e. ricinus comunis). At present, other feedstocks (e.g. Jatropha) are also being evaluated. The following two phases have been contemplated: (i) the generation of employment opportunities in rural Michoacán and (ii) the promotion of local markets for alternative fuels and reduction of air pollution. The state government has identified about 36,744 ha in Michoacán with a potential for non-irrigated castor oil production. The first step was the plantation of 2,000 ha to reach 2.600 t/a harvest in 2005 year and in 2006 the objective is the in plantation of 10,000 ha with an estimated harvest of 13,000 t/a. An interinstitutional working group has been established in order to promote the project. Another future phase of the project consists in the installation of a biodiesel plant with a production capacity of approx. 10 m^3/month. Under their estimations, the investment cost will round 500,000 MX$, but there is no more information about how and when that phase will start.

Fig. 2-6 Castor plants (ITSEM, 2006)

2.2.5 Other activities

Another effort on biodiesel field is make within the biodiesel campaign "Campaña Permanente de Recolección de Aceite Usado (AVU)" dealing with the collection of waste vegetable oils (also called grease) from about 230 hotels and restaurants in the metropolitan area of México DF. Under their estimations the collection potential for the city and the metropolitan area from restaurants and hotels is 100 m^3/month and if a program to collect grease in homes were implanted, it could enlarge the prospective in 100 m^3/month more. The production of biodiesel based on the collected grease laboratory has been successfully demonstrated for the Cambio Climatico S.A.

Also Sabritas®, which is one of the market players for potato chips production in Mexico, contemplate to use its grease for biodiesel production and its use in the company's vehicle fleet.

Other University biodiesel project is presented from a partner shaft program between the Universities of Nogales and Arizona. The second one has made a study of potential to elaborate biodiesel from grease collected in both sides of the border.

The Instituto Politécnico Nacional (IPN) in México City conducts also a research of jatropha curcas in its biotechnology centre (Departamento de Biotecnología del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos). This department has encourage the characterization of the crop, located in the states of Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz and Yucatán.

There are some other private efforts to detonate biodiesel in México, but they are scarcely documented and it is difficult to include them in a national perspective development of the fuel.

3 TECHNICAL FEASIBILITY ANALYSIS

Basically, diesel based on biomass (i.e. biodiesel) can be produced by means of various production routes, e.g.

- via the physical-chemical conversion by means transesterification which is the most established pathway for biodiesel world wide,
- via the thermo-chemical conversion by means of biomass gasification and following fuel synthesis (e.g. to Fischer-Tropsch-Diesel) which is more complex and currently in R&D stage or as a mix of them
- via physical-thermo-chemical conversion by means of hydrogenation of biocrude oils (e.g. palm oils) within refinery processes of petroleum crude diesel which is world wide more an niche option under certain conditions[1] focused for instance by PETROBRÁS in Brazil.

However, with regard to the articles 2 of the draft of Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (cf. section 2.1.1) and the term of references for this study, only biodiesel produced via the most established way of physical-chemical conversion will be addressed with the following analyses.

The technical feasibility analysis involves a detailed description of overall concepts and their process specific system elements for the production of biodiesel based on different feedstock and plant capacities (e.g. small and large scale). This includes also the production of vegetable oils and the provision of other feedstocks such as animal fats (e.g. tallow) free plant gate (Fig. 3-1). Therefore, the most relevant feedstocks for biodiesel production in México will be identified based on the results of Task B (Lazcano, 2006). Moreover, biodiesel distribution and use will be considered.

[1] These conditions for the implementation of biocrude oils into conventional refinery processes depends on factors such as working load of the hydrogenation (i.e. the addition of hydrogen to unsaturated organic compounds) reactors, availability of surplus hydrogen and – as crucial – competitive costs of e.g. palm oil versus crude petroleum oil.

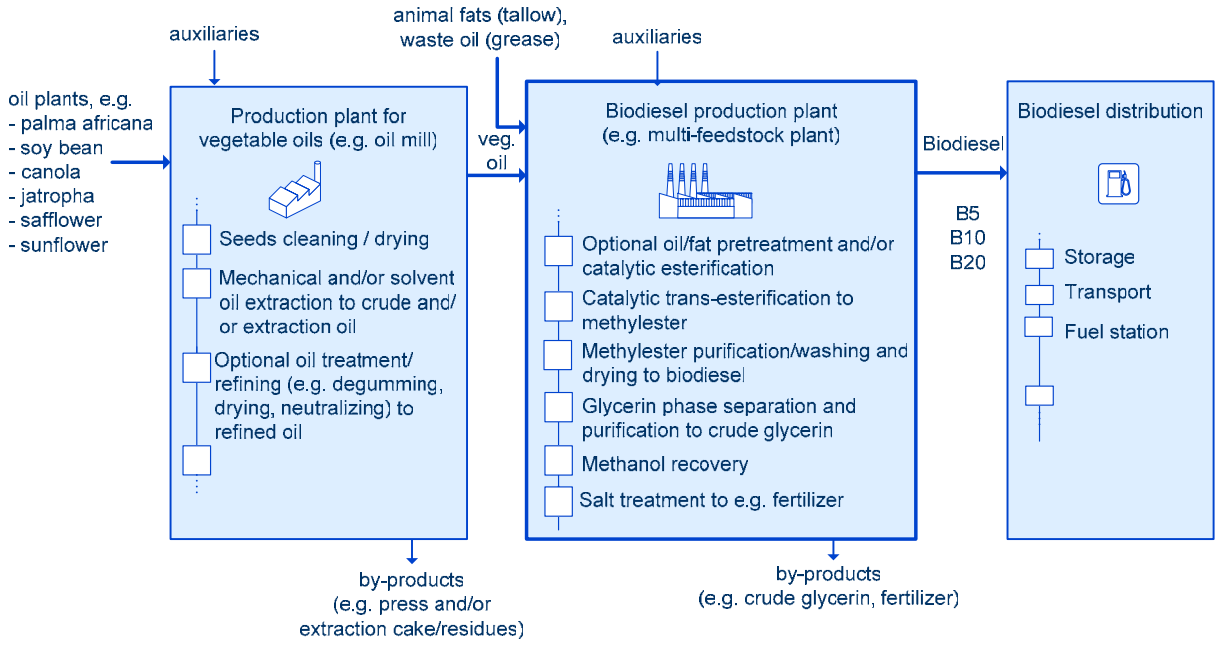


Fig. 3-1 Feedstock supply and biodiesel production (IE, 2006)

Within this analysis emphasis will be given to the

- **feedstock requirements**, i.e. important properties such as content of free fatty acids (FFA), water, phosphor and sulfur (section 3.1),
- **analysis of the biodiesel production process**, i.e. identification of promising technical concepts and specific process sheets including relevant mass and energy flows, i.e. all in- and out put flows such as feedstock, utilities (e.g. for transesterification, catalytic and cleaning agents), auxiliary energy, biodiesel product and by-products (e.g. press cake from vegetable oil production, glycerin and distillation residues) (section 3.2),
- **product quality of biodiesel** (e.g. with regard to relevant fuel and emission standards, suitability for end use in passenger and truck vehicles) and by-products (e.g. in terms of their use as animal food, fertilizer or for other technical purposes) (section 3.3).

3.1 Feedstock requirements

The kind and quality of feedstock is the decisive factor according the technical design of a transesterification plant respectively on the corresponding material and energy flows, which are not only indicators of technical efficiency, but also affect the economic efficiency of biodiesel production. In the following section the detailed evaluation of the feedstocks on the basis of a specification of the significant characteristics of oils and fats are analyzed.

3.1.1 Characteristic properties

This section reviews the categories of available feedstock for the production of biodiesel and a number of key feedstock decisions that affect technology options and operations of a biodiesel plant.

The main feedstocks used in the production of biodiesel are vegetable oils/fats, animal fats and fish oils as well as recycled oils. Oils and fats are composed of a specific category of organic compounds called triglycerides. A triglyceride molecule is made up of three fatty acid units attached to a three-carbon backbone. If all carbon atoms of the free acid are connected in single bonds they are called saturated; if more then one is double bounded they are called monosaturated respectively polysaturated fatty acids (Fig. 3-2).

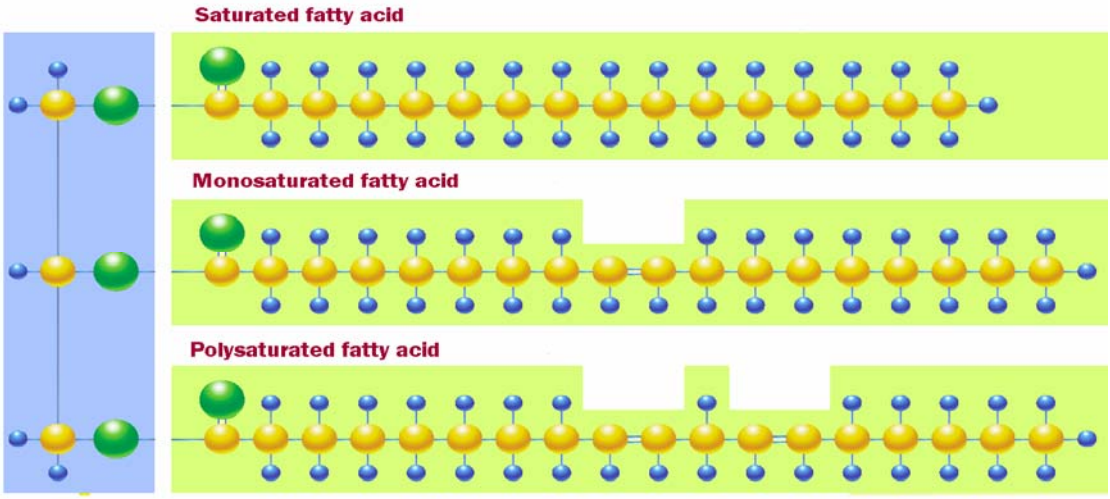


Fig. 3-2 Exemplary composition of a triglyceride (UFOP, 2004)

The amount of the different fatty acids is mainly genetically given and is referred to as fatty acid profile (Fig. 3-3). The fatty acid profile can be used to predict both physical and performance properties of the biodiesel product. For example, biodiesel produced from tallow, a highly saturated fat, will tend to have a higher freezing point that can inhibit cold flow properties.

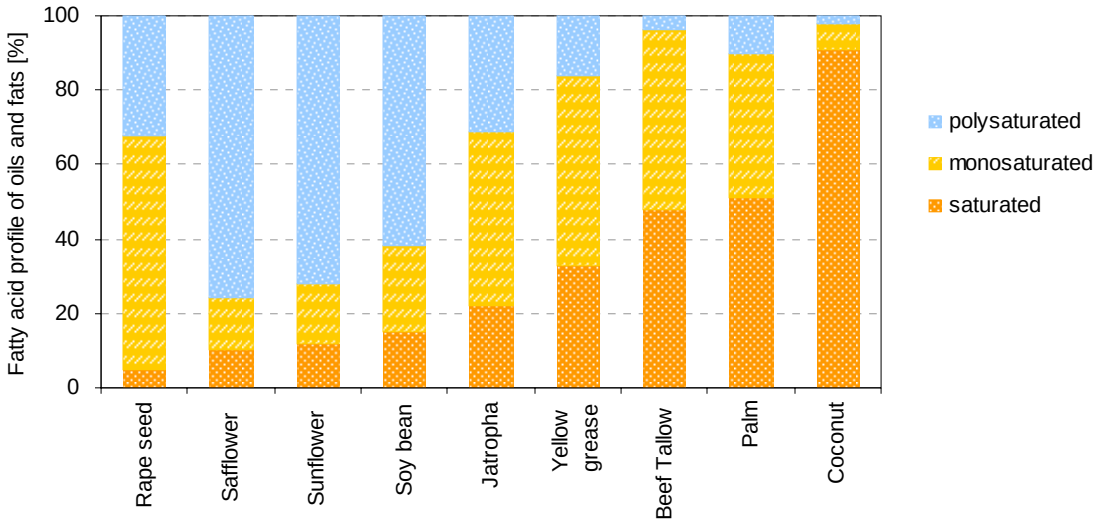


Fig. 3-3 Fatty acid profile of different feedstocks (Tyson & McCormick, 2006; IE, 2006)

The presence of water splits the fatty acid away from the triglyceride (i.e. by means of the so called process hydrolysis). Eventually, glycerin and free fatty acid (FFA) will be obtained, but intermediate stages, where only one or two of the fatty acids have been split away from the triglyceride, will also be present in the fat. Hydrolysis can occur both in oilseeds and in extracted oil. The FFA content is used as a guide to the extent of deterioration in the quality of oils and fats. Additionally, some substances such as water, phosphorus connections (i.e. phospholipids) as well as traces of sulfur are contained within oils and fats, which also can have effects on the technical usefulness (TFZ, 2002).

For a classification of the different feedstocks on vegetable and animal basis the following parameters are essential (Tab. 3-1).

Tab. 3-1 Feedstock parameters and their relevance for biodiesel production and use (IE, 2006)

Parameter	Characterization	Relevance for the biodiesel production and use
Free fatty acids (FFA)	significant measure of feedstock quality, indicator for the level of hydrolysis; FFA of native unrefined oils and fats can be above 20.0, refined oils/fats have FFA up to 1.0	influence degree of required processing (e.g. catalyst demand) and biodiesel quality (primarily cold flow properties)
Total contamination	proportion of unresolved impurities (particles) in the oils/fats; mainly affected by the oil production procedure	relevant to glycerin quality and unwanted glycerin caking within the process; High total contaminations lead to clogging the fuel filters and increase the danger of damage to the injection pump and to injection nozzles as well as of deposits in the combustion chamber.
Water content	mainly affected by the moisture of the seeds and refined oils/fats; with all oils/fats the water content can rise through storage and transport	at high temperatures water can hydrolyze the triglycerides to diglycerides and form free fatty acids; relevant for disturbing the transesterification by catalysts loss and unwanted soap production
Cinematic viscosity	physical-mechanical characteristic, depending of specific melting point	influenced by the temperature, fatty acid profile and oil-aging degrees, whereas the kind of the oil production procedure does not affect viscosity
Cold flow properties	strongly affected by temperature; saturated fatty compounds with a significantly higher melting points than unsaturated fatty compounds	cloud point (CP) and the cold filter plugging point (CFPP) or pour point (PP) for fuels not suitable to describe cold flow properties of oils/fats, since the transition of the liquid to the solid phase can not be definite.
Iodine number	indicator for double bindings in the molecular structure of oils/fats. the higher the iodine value, the more unsaturation acids are present in the oils/fats	high iodine number in oils/fats for less age resisting than oils/fats with high degree of saturation; informs about the tendency of deposits in the combustion chamber and at injection nozzles.
Phosphorus content	present in vegetable oils in the form of phospholipids; depends on refining grad of oils/fats (influenced by oil production process)	decreasing oxidation stability with rising portion of phospholipids; high amounts of phospholipids leading to disturbances with technical processes (e.g. blockages of filters and injection nozzles); avoidance of phosphorus compounds in waste water
Oxidation stability	value, which describes the aging condition and the shelf-life of oils/fats	oxidation and polymerization procedures during fuel storage, which can lead to formation of insoluble compounds and thus cause e.g. filter blockage

3.1.2 Vegetables oils

Vegetable oils suitable for producing biodiesel include the commodity oils such as based on palm, soy beans, rape seed, sunflower and safflower. Some oils such as olive and peanut oils are principally suitable for biodiesel as well; however, they are too expensive at the market. Other oils like coconut oil can also be used, but the physical-chemical properties make them less attractive for biodiesel production. The oil crops (i.e. seeds and fruits) are characterized by different total oil contents per tone which are in the range of e.g. 17 % for soy beans to about 38 % for rape seeds.

Most of the vegetable oils have the advantage of low FFA contents and typically very low concentrations of other contaminants (e.g. water). Even so, some of the crude oils need to be partially or fully refined to reduce the FFA content and the amount of phospholipids of the raw oil. The fatty acid profiles (cf. Fig. 3-3) of most temperate climate vegetable oils allow the esters to meet cold flow requirements without the need of winterization[2] agents. The polyunsaturated content desirable for most vegetable oils can decrease the cetane number of the biodiesel and may contribute to a lower storage stability for the product.

Rape seed oil (also named canola oil) is the primary feedstock used in Europe for the production of biodiesel. Industrial rape seed is used in a variety of high performance lubricants, corrosion inhibitors, and other products as well as biodiesel. Through its high content of monounsaturated and low content of saturated fatty acids rape seed oil is one of the most suitable feedstocks for biodiesel production regarding burn characteristics, oxidation stability and cold flow property. A by-product accumulating during rape seed processing to oil (e.g. by mechanical or extraction steps) is a protein-rich meal, which can be a substitute for soy bean meal by the intensive livestock industry (Mittelbach, 2004).

Soy bean oil is recovered as a by-product from the production of soy bean meal, a high protein food and fodder material. This temperate seed oil has received the greatest attention as a source for biodiesel in the U.S. because o f the extensive infrastructure for the recovery and refining of soy bean oils. The major fatty acids in soy bean oil triglycerides are poly-unsaturated (57 to 61 %) and monounsaturated (22 to 26 %) acids. The fatty acid profile of soy bean oil yields an ester product that requires minimal winterization. As far as soy bean oil mostly exceeds an iodine number above 120, it is not suitable as biodiesel according the European biodiesel standard EN 14214 (Mittelbach, 2004).

Palma africana is the largest volume triglyceride resource in the world. As the name indicates, palm oil is seed oil derived from the oil palm tree. Palm kernel oil is derived from the seed kernel, while palm oil is recovered from the seed pulp. Palm oil is the material of interest for biodiesel production. Palm oil is characterized by high saturated (38 to 52 %) and high monounsaturated (32 to 40 %) acid contents. The oil is semi-solid at room temperatures. The fatty acid profile of palm oil does not allow the esters to meet cold flow requirements without winterization in temperate regions (Kinast, 2003).

[2] Winterization means a process for reducing the crystallization temperature of biodiesel.

Jatropha oil can be characterized by high portion of monounsaturated and polysaturated acids and high acid values. Since jatropha is not well known as biodiesel feedstock, data on quality are rarely. Jatropha oil has been found to have properties that enable conversion into biodiesel that conforms to most international standards and its use has all the advantages of rapeseed biodiesel use.

Safflower oil is thought to be one of the highest quality vegetable oils. There are two types of safflower: (i) one high in monounsaturated fatty acid (oleic acid) and (ii) the other high in polyunsaturated fatty acid (linoleic acid). Currently, the predominant oil market is for the oleic acid, which is e.g. lower in saturates and higher in monounsaturates than olive oil.

Sunflower oil is comparable with the physical characteristics of soy bean oil. At present, it is only marginally used for the biodiesel production; but it is in discussion as feedstock in Southern Europe.

3.1.3 Animal fats and fish oils

Animal fats and fish oils are by-products of the meat packing and fishery industries. Animal fats (e.g. tallow) and fish oils are recovered from animal sources by a process called rendering (section 0).

The primary animal fats include edible and inedible tallow from processing cattle, lard and choice white grease from swine processing and poultry fat from the processing of chicken, turkey or other birds. The nature of animal fats does not lend itself to making highly consistent product, because the input stream is too variable. Therefore, the decision to use animal fats in a biodiesel facility is a commitment to careful monitoring of each new lot of feed material. Because the fatty acid profiles of the most animal fats – animal fats tend to have high amounts of saturated fatty acids – they are generally semi-solid or solid at room temperature. While rape seed oil and soy bean unsaturated fatty acids, mainly oleic acid and linoleic acid, animal fats have a major content of saturated fatty acids (e.g. palmitic and stearic acid). The increased amount of saturated fatty acids shows a trend in the main fuel properties. While the oxidation stability of biodiesel derived from animal fats increases, the cold temperature performance decreases with a rising content of saturated fatty acids. Also FFA contents tend to be higher than vegetable oils because they have been cooked (rendered) once in their preparation (Boyd, 2004).

Fish oils could be used for biodiesel but they tend to be priced at a premium therefore they are normally not getting used for biodiesel production. As well they tend to have high amount of unsaturated fatty acids hence fish oil biodiesel may lead to stability problems.

3.1.4 Recycled or waste oils

Recycled or waste oils/fats are produce by-products of the restaurant and food service industry that can be used for the production of biodiesel.

The feedstocks used to make the grease products can hardly vary, even from a single plant. The fatty acid profile of the recycled or waste oils/fats is determined by the composition of the used oils and fats. Like animal oils/fats it is therefore absolutely necessary to monitor exact data concerning the physical and chemical characteristics. Recycled oils with a relatively low FFA content (1 to 5%) are called yellow greases while with high FFA content (above 20 %) they called brown or trap greases. Besides this the recycled or waste oils/fats can have an enormously variation concerning the cold flow properties, iodine number, phosphorus as well as chloride content. Also the water content and total contamination can exhibit intolerable high values. Anyway, if these parameters are getting fixed within the limits recycled or waste oils can be a low price feedstock for biodiesel production (Kinast, 2003; Falk, 2001; Zhang, 2003).

3.2 Biodiesel production process

Chemically, transesterification (also called alcoholysis) means taking a triglyceride molecule or a complex fatty acid, neutralizing the free fatty acids, removing the glycerin and creating an alcohol ester. This process has been widely used to reduce the high viscosity of triglycerides. The transesterification reaction is represented by the general equation as follows (Fig. 3-4).

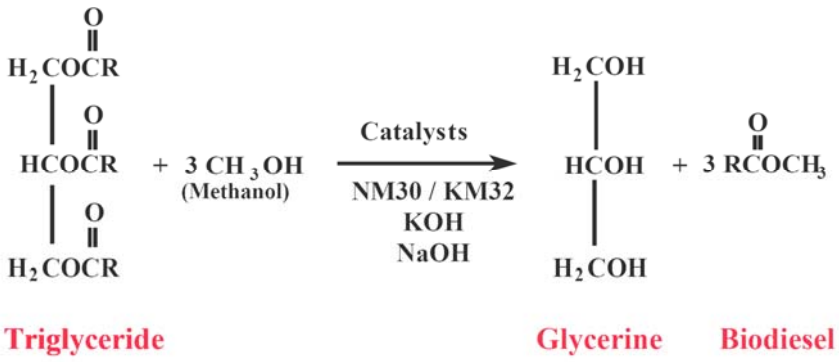


Fig. 3-4 Chemical reaction of biodiesel production (Markolwitz, 2004)

There are three basic steps in the biodiesel production from oils/fats – (trans)-esterification, alcohol ester processing, and glycerin purification (Fig. 3-5).

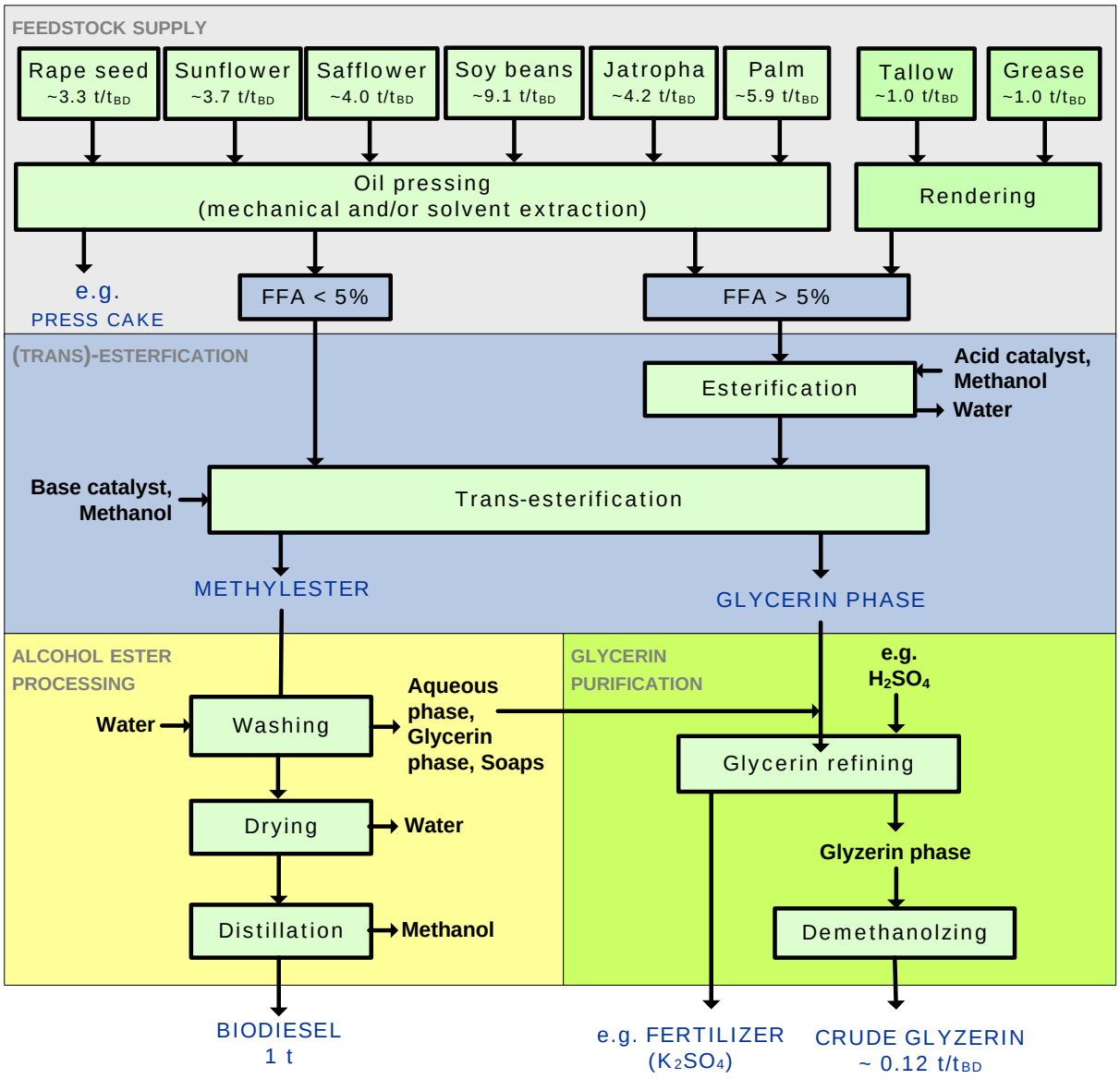


Fig. 3-5 General scheme of the biodiesel production (IE, 2006)

In the first process step the oil is charged to the reactor and mixed with the alcohol (e.g. methanol) and the catalyst. The reaction of the oils or fats and alcohol to biodiesel and glycerin is a balance reaction, which is stopped, if about two thirds of the basic materials reacted. In order to increase the yield during the industrial conversion, a reaction product (usually glycerin) can be taken off or a reaction partner is used with a surplus. In most cases it is worked with a surplus on alcohol in order to affect the equilibrium in the desired direction. A successful transesterification reaction produces two liquid phases: (i) alcohol ester and (ii) glycerin phase. At the end of the reaction the glycerin phase, which sediments due to density differences, must be separated. This separation must have to be realized fast and completely, in order to prevent backward reactions. A centrifuge is typically used in this stage to speed separation (Berger, 2004).

Once separated from the glycerin the alcohol ester is washed to remove any soap formed during the reaction as well as the residual free glycerol and alcohol. The alcohol ester is then dried to remove all water. In some cases, the esters are distilled under vacuum to achieve even higher purity to reduce color bodies in the fuel and remove sulfur and/or phosphorus from the fuel. The washing step can be greatly affected by the FFA level of the feedstock, since all the FFA form soaps in the reaction.

To further refine the glycerin, it is neutralized with an acid (usually hydrochloric or phosphoric) to form salts and sent to storage as crude glycerin. After the aqueous glycerin phase has been neutralized, the glycerin is processed further by evaporation. The glycerin is than typically 80 to 88 wt-% pure and ready to be sold as crude glycerin. The glycerin can again be further refined by drying it in a vacuum distillation unit and then cleaned in a continuous adsorption unit to receive a technical or pharmaceutical-grade glycerin with a glycerin content of almost 100 wt-% (S&T, 2004).

The excess methanol can be removed at different stages of the reaction – before or after the phase separation. In both cases, the methanol is recovered and reused using conventional equipment. Care must be taken to ensure no water accumulates in the recovered methanol stream.

3.2.1 Auxiliary substances

3.2.1.1 Alcohol

Among the alcohols that can be used in the transesterification reaction methanol and ethanol are the most commonly used alcohols. Until the alcohol is separated for recirculation, the processing units required are the same. One important difference is the amount of each alcohol required for effective transesterification. The methyl ester process utilizes 100 % molar excess alcohol, whilst the ethyl ester process utilizes 70 % stoichiometric excess ethanol (both 100 % pure). In terms of volume, more ethanol is required per litre of oil than methanol causing a major increase in production cost. Furthermore, methanol has several advantages; the most important are its low price and the high reactivity. Methanol is easily available in an absolute pour form, so that hydrolysis and soap formation due to water contained in the alcohol can be minimized. Ethanolysis in contrast is more energy consuming than methanolysis, has problems regarding separation of the esters and glycerol phase is more depend on water interferes (Gerpen et al., 2004a; Gerpen, 2004).

3.2.1.2 Catalysts

A catalyst is usually used to improve the reaction rate and yield. Catalysts may either be base, acid or enzymatic materials. The choice of the catalyst is mainly determined by the content of FFA. While for transesterification of oils/fats with low FFA contents mainly base catalysts are used, fats and oils with high FFA contents are converted in a two-stage process of acid

esterification followed by base transesterification. Both processes can be operated in a batch or continuous mode.

Most of the biodiesel produced in the world uses the base catalyzed process. Base catalysts processes have the advantage of high conversion rates in a short reaction time. Depending on temperature, concentration, mixing and alcohol-to-triglyceride ratio, the residence times for base catalysts range from about 5 minutes to 1 hour. Furthermore, while using base catalysts a strongly over-stochiometric portion of alcohol with the transesterification can be waived. Therefore, the reaction vessel can be dimensioned smaller, which leads to comparatively low investment cost. The disadvantage of the basic catalysts is their sensitivity to the feedstock's FFA that react with the base catalyst to form soaps. Soaps can gel at ambient temperatures causing the biodiesel to form a semi-solid mass. Therefore, most base catalyst systems use vegetable oils – refined or crude – as a feedstock (Gerpen et al, 2004b).

The base catalysts are highly hygroscopic and they form chemical water when dissolved in the alcohol reactant. They also absorb water from the air during storage. If too much water has been adsorbed the catalyst will perform poorly and the biodiesel may not meet the total glycerin standard.

Catalysts of importance in industry for base transesterification are first and foremost sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH) and alkoxides. Sodium hydroxide for transesterification has the strong advantage that it is inexpensive while potassium hydroxide is generally observed to be more efficient. Furthermore, when the catalyst is removed from the glycerin at the end of the process the use of KOH lead to the by-product potash, which can be further utilized as fertilizer. Potassium hydroxide is a largely available product but to obtain the same conversion rate you need more catalyst compared to sodium hydroxide products. Alkoxides (e.g. sodium methoxide or potassium methoxide) are, in chemical terms, compounds in which the hydroxyl hydrogen of an alcohol is replaced by a metal. If alkoxides are used for biodiesel production, a solution of sodium methoxide in methanol ($NaOCH_3$ in CH_3OH) is preferred for process and commercial reasons while a solution of potassium methoxide in methanol ($KOCH_3$ in CH_3OH) is mainly used with recycled or waste oils. These catalysts can be considered at the most effective ones at reasonable prices (Markolwitz, 2004).

Acid catalysts are used for esterification in order to convert feedstocks with a high FFA contents to esters, followed by a base catalyst transesterification to convert the remaining triglycerides to methyl esters. Contrary to base catalysts, acid catalyzed conversion runs more slowly, under higher temperatures and under much higher over-stoichiometric portion of alcohol. The mostly used sulfuric acid (H_2SO_4) has two advantages: its low price and its hygroscopicity, whereby the water, which results during the esterification, is bounded. The corrosiveness of the sulfuric acid is unfavorable; thus acid-resistant materials have to be applied, leading to increasing investment cost.

3.2.2 Feedstock preparation

3.2.2.1 Vegetable oils

The two main processes for extracting oil from seed feedstock are mechanical press extraction and/or solvent extraction.

In small-scale **mechanical press extraction**, the oil seeds are optionally first heated and then crushed in a press. Presses range from small, hand-driven models to power-driven commercial presses. Freshly extracted vegetable oil may include contaminants, such as fine pulp, which are removed through decanter or filter. The presence of solid matter in oils leads invariably to deterioration. After most of the oil is removed, the remaining seed meal (with a residual oil content of 20 to 33 % depending on extraction oil efficiency and oil content in the seed) can be used as an animal feed or energetic e.g. as substrate for biogas production. Small-scale oilseed processing is of interest as a potential on-farm or community enterprise that can increase income and employment in rural areas.

Solvent extraction is the preferred oil extraction alternative for large-scale operation. The solvent process extracts more of the oil contained in the oil seed feedstock but requires more costly equipment. Hexane is currently the most commonly used extraction solvent for oil seeds because it is relatively cheap and abundant. After extraction, a distillation process separates the oil from the solvent. The solvent condenses and can be recycled and reused in the process. Solvent extraction produces vegetable oil with a higher degree of purity than the mechanical press process. In contrast, to the mechanical extraction the extraction yields meals with 1 to 4 % residual oil.

Once the oil has been extracted, it is further refined to produce oil with the desired chemical and physical properties. The oils may then be treated to remove components like phospholipids (degumming) and free fatty acids (acid neutralization) as well to reduce color and odor (bleaching). The degree of refining employed is determined by the ultimate use for the oil. Firstly, the crude oil from the extraction unit is degummed to remove phospholipids or lecithin. The phospholipids are removed since they are strong emulsifiers which can lower the yield through the acid neutralization and can also have partially effects on the technical usefulness of the oils/fats. The second phase of refining is the neutralization where the FFA content in the crude oil is reduced. An alkali solution (usually sodium hydroxide) is added that reacts with the FFA to produce soaps. The soaps are insoluble in the oil and easily separated by water washing. Pigments and remaining traces of gums, FFA and minerals are removed by bleaching, which is done by adding specially mined clays to the oil. A deodorization step is conducted in the food industry prior to oil shipment to remove volatile compounds that may adversely affect odor and flavor. Mostly vegetable oils are partly refined (neutralized) because full refining is economically never compensated by the slightly lower consumption of catalyst and acid (Gerpen et al., 2004a; Kaltschmitt, 2001).

All of the above named vegetable oils (cf. section 3.1.2) are characterized by quite different average crop yields per hectare cultivated land and total oil contents per tonne of seeds or fruits respectively and thus average oil yields; moreover process specific extraction efficiencies as well as resulting oil yield are given below (Tab. 3-2).

Tab. 3-2 Average crops and oil yield for mechanical and solvent extraction

Feedstock		**Palma africana**	**Jatropha**	**Sunflower**	**Rape seed**	**Safflower**	**Soy beans**
Crops yield	[t/ha]	14.8	2.0	1.7	1.53	1.12	1.63
Total oil content	[%]	22	35	37.5	38	35	17
Oil extraction efficiency							
mechanical extraction	[%]	80	70	74	80	67	67
Solvent extraction	[%]	96	96	96	98	96	96
Oil yield							
mechanical extraction	[kg_{Input}/l]	5.2	4.1	3.0	3.0	3.6	8.1
	[l/ha]	2,825	533	513	506	315	202
Solvent extraction	[kg_{Input}/l]	4.4	2.7	2.6	2.5	2.7	5.6
	[l/ha]	3,390	730	665	619	409	289

Based on this, although rape seeds dispose of the highest oil content, in terms of oil yield per hectare cultivated land oil extraction of palma africana leads to the highest amount of about 3,400 l/ha due to the comparably high crops yield. Despite of this, oil based on soy beans is less attractive in terms of oil productivity since both crops and oil yield are very low. However, as mentioned soy beans oil is produced as by-product of soy bean fodder (cf. section 3.1.2).

3.2.2.2 Animal fats or fish oils and waste oils

Animal fats and waste oils are recycled into useable products through a process called rendering. Rendering processes may be categorized as either edible or inedible processes. Although edible and inedible rendering processes are generally similar, they differ in their feedstocks, end products and the applied equipment. In “edible” rendering processes, carcass by-products such as fat trimmings are ground into small pieces, melted and disintegrated by cooking processes to release moisture and “edible” tallow or fat. Plants that employ “inedible” rendering processes convert the protein, fat, and keratin (i.e. hoof and horn) materials found in carcasses into tallow and carcass meal (used in e.g. livestock feed, soap, production of fatty acids and fertilizer). The main rendering processes include size reduction followed by cooking and separation of fat, water and protein materials using techniques such as screening, pressing, sequential centrifugation, solvent extraction and drying (Gerpen et al., 2004a).

3.2.3 Biodiesel production

As mentioned in section 3.1.1 commercial biodiesel plants can be grouped in dependency on which maximum FFA level they can handle. The two main biodiesel technology models are

(i) base catalyzed transesterification and (ii) acid esterification followed by base transesterification. Both are explained as follows.

3.2.3.1 Base catalyzed transesterification

A base catalyzed transesterification process dominates current commercial production of biodiesel and is used for feedstock's containing low levels of FFA. This includes soy bean oil, rape seed oil and treated animal and recycled oils/fats (e.g. refined or upgraded). The reaction is often carried out in two steps to provide a very complete reaction with the potential of using less alcohol than single step systems.

The main advantages are high conversion rates under mild conditions, low temperature and near atmospheric pressure with minimal side reactions and short reaction time with no intermediate steps during conversion. Base catalyzed processes are less corrosive for the industrial equipment and need a small amount of alcohol, what result in a smaller reactor sizes comparing to acid catalyzed processes (Gerpen et al., 2004a; Zappi, 2003).

Base catalysts are sensitive to water as well as on high FFA contents. High FFA feedstock's react with the base catalyst and form soaps. Hence, the maximum amount of FFA acceptable in a base catalyzed system is less than 5 % (preferably less than 1 %) (Kinast, 2003).

3.2.3.2 Acid esterification followed by base transesterification

The combined process of acid esterification followed by base transesterification is used to produce biodiesel from feedstock containing high FFA, such as palm oil or animal fats (cf. Fig. 3-5). Moreover, it enables the production of long branched-chain esters, which quite difficult to handle in a base catalyst transesterification process. The FFA are removed in the first step of the process, the acid esterification, while reacting with the alcohol in form of soaps until the FFA content is reduced at least until 0.5 %. The soaps are removed and then the base transesterification process follows (Gerpen et al., 2004).

When a two-step process is used, water management becomes the technological challenge. The acid esterification has two negative effects while creating water as by-product. First of all, it reduces the yield of fatty acids to biodiesel and leaves too many fatty acids behind in the feedstock as well the water will also reduce yields in the transesterification step. Therefore, the equipment need to be constructed that water of reaction is removed during the acid esterification step. Futhermore, the fluid that proceeds into the transesterification step has a low water content (Gerpen, 2004, Zappi, 2003).

3.2.3.3 Batch versus continuous processes

The production of biodiesel can be either performed in a batch process or in continuous operation. As simplified rule, processing biodiesel in batches is more suitable for small plants as simpler operating units are needed (500 to 10,000 t/a). Batch processes are relatively easy to compensate for differences in feedstock characteristics and it tends to be less expensive since all of the operations can be performed at atmospheric pressure in tanks. The disadvantage of batch processing is that the physical size of the plant tends to scale directly with the capacity of the plant; i.e. to double the capacity of the plant requires tanks that are twice as large. Batch processes provide excellent opportunities for quality control if variations in feedstock quality are common, such as with yellow grease and animal fats (Mittelbach, 2004).

For lager plants continuous flow processing is favored (above 30,000 t/a). It uses utilities and other resources in a continuous manner at a lower peak rate, which usually is less expensive. Continuous flow plants usually operate at high temperatures (at least 65 °C) to shorten the processing time and can be characterized by a manufacturing efficiency with steady product quality as well as a high degree of automation with small flexibility of the feedstock qualities. A continuous plant leads to better heat economization, better product purity from phase separation by removing only the portion of the layer furthest from the interface, better recovery of excess alcohol in order to save on alcohol cost and regulatory issues, minimal operator interference in adjusting plant parameters, and lower capital costs per unit of biodiesel produced. Centrifugal separators are often used to do separations very quickly while taking very little plant space. However, the cost of the separators are very high. The equipment for continuous flow processing does not usually require a lot of space, and it can be scaled up to provide increased capacity without taking a corresponding increase in space (Berger, 2004, Zappi, 2003, Gerpen, 2004).

Finally, it can be stated that both batch and continuous flow processing can provide a high quality product and successful plants have been developed using both approaches.

3.2.4 Reference concepts

To demonstrate to current state of the art biodiesel production technologies for a market entry in Mexico four principle reference concepts are identified in the following sections 0 et seqq.. The reference concepts were selected in relation to the state of the art biodiesel technology described in section 3.2. The concept furthermore represents a cross section of the current installed biodiesel plants (Tab. 3-3).

Tab. 3-3 Production technology manufacturer

Reference concepts	Process technology company	max. FFA-content	Degree of innovation	References: Plants estabished	Plant size in 1000 t / a	Level of plant cost
I	AGERATEC, Carry On, SE	< 1 %	low	n. a.	0.26 - 5	low
	IBG Monforts Oekotec	< 1 %	low	10	0.45 - 3.6	low
II + III	Westfalia - D	< 1 %	medium	3	100 - 120	high
	De Smet Ballestra - B/I	< 1 %	low	1	100	medium
	Lurgi Life - D	< 1 %	low	3	100	high
	AT Agrartechnik - D	< 3 %	low	3	53 - 75	medium
IV	Energea - A	> 20 %	very high	3	40 - (250)	low
	BDI - A	> 20 %	high	6	30 - 50	high

3.2.4.1 Reference concept I: agricultural oil mill-biodiesel plant

The agriculture is not only potential user of biodiesel, it produces also the feedstock's to their production. In order to increase the regional added value, it can be meaningful to integrate biodiesel production in an optimized closed loop recycling management cycle within the agricultural system. It enables the point of production to be nearer to the point of consumption, making the process more efficient from an energy standpoint. It is becoming increasingly apparent that small-scale, localized, low-impact energy keeps more resources and revenue within communities, reduces damage to the environment and requires less waste management. An advantage of the agricultural oil mill-biodiesel plant is that the by-products of the biodiesel production, like press cake or crude glycerin, can be used as feeds or for energy production (e.g. for bio-chemical conversion to biogas). Moreover, it allows operations to be initiated with relatively low start-up cost that is within the reach of many diesel fuel consumers.

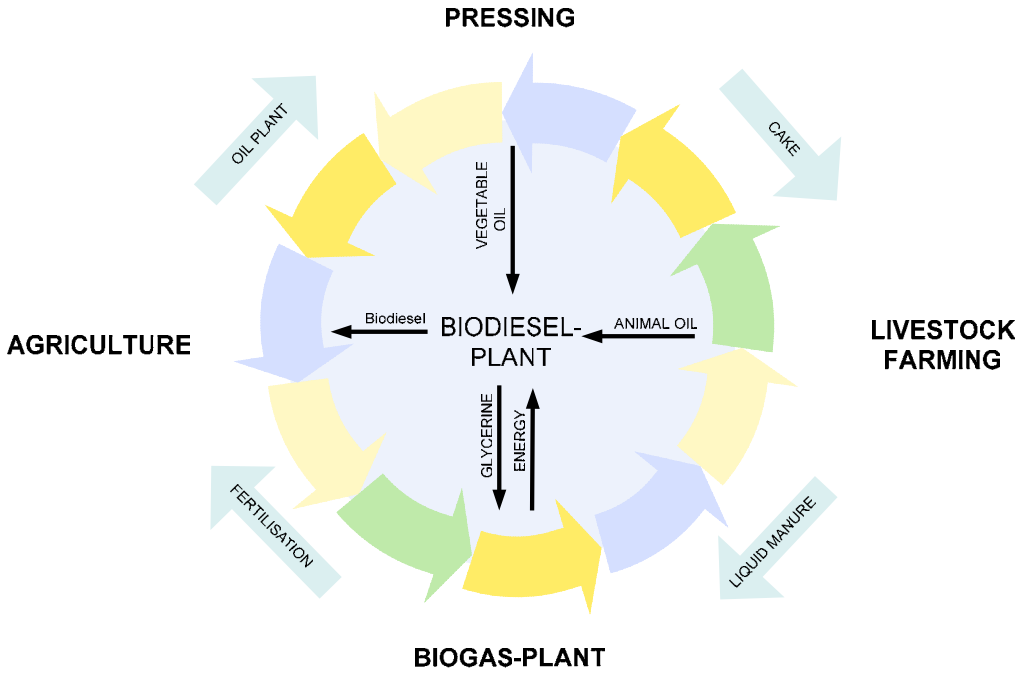


Fig. 3-6 Closed loop recycling management of agricultural oil mill-biodiesel plant

As typical plant size for the agricultural annex plant concept can be selected with a capacity of approx. 3,600 t/a to 5,000 t/a depending on annual load (Fig. 3-7).

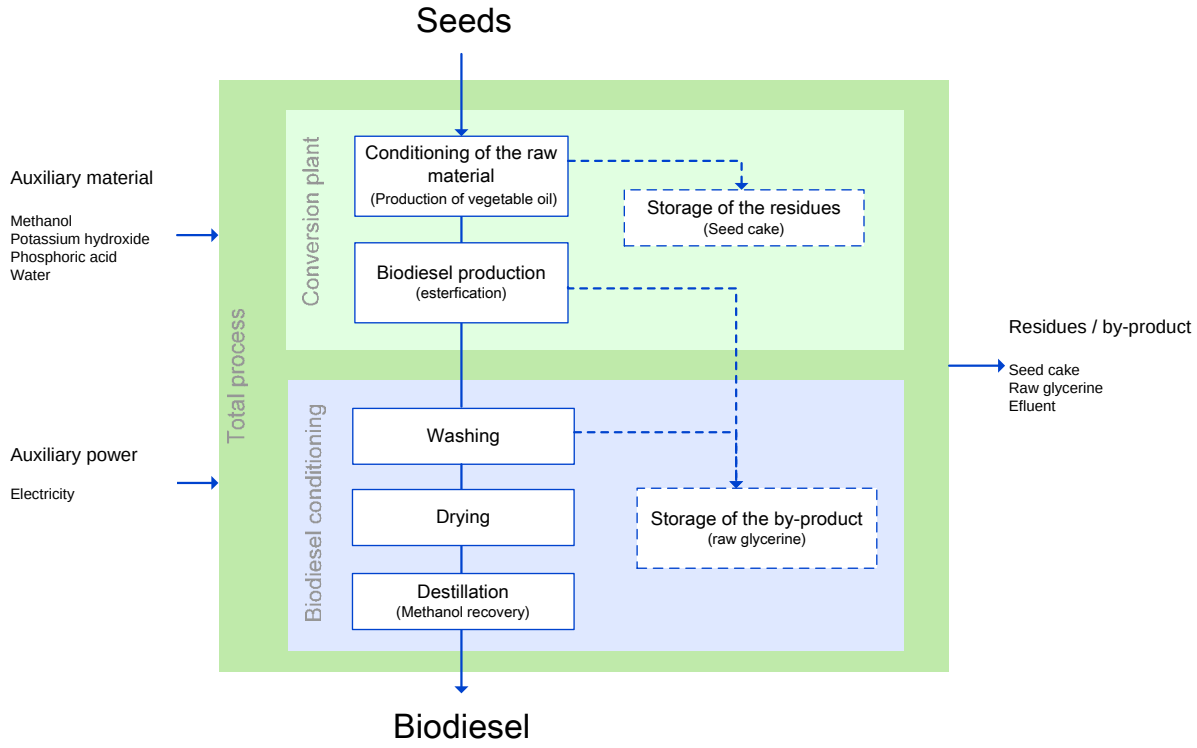


Fig. 3-7 Reference concept I: agricultural oil mill-biodiesel plant (annex plant)

3.2.4.2 Reference concepts II + III: industrial biodiesel plants

As with almost any process industry, a large plant is more efficient than a small plant due to economy of scale; therefore, the trend is towards large facilities instead of small. Most of the biodiesel plants in United States and Europe have been designed to use clean, high-quality feedstock (i.e. vegetable oil) with methanol. These large-scale biodiesel plants can be divided concerning there input material – some biodiesel plants are designed as part of larger oilseed processing operations while others are stand alone plants. Through there plant size of around 100,000 t/a they mainly are driven continuously (Fig. 3-8 et seq.).

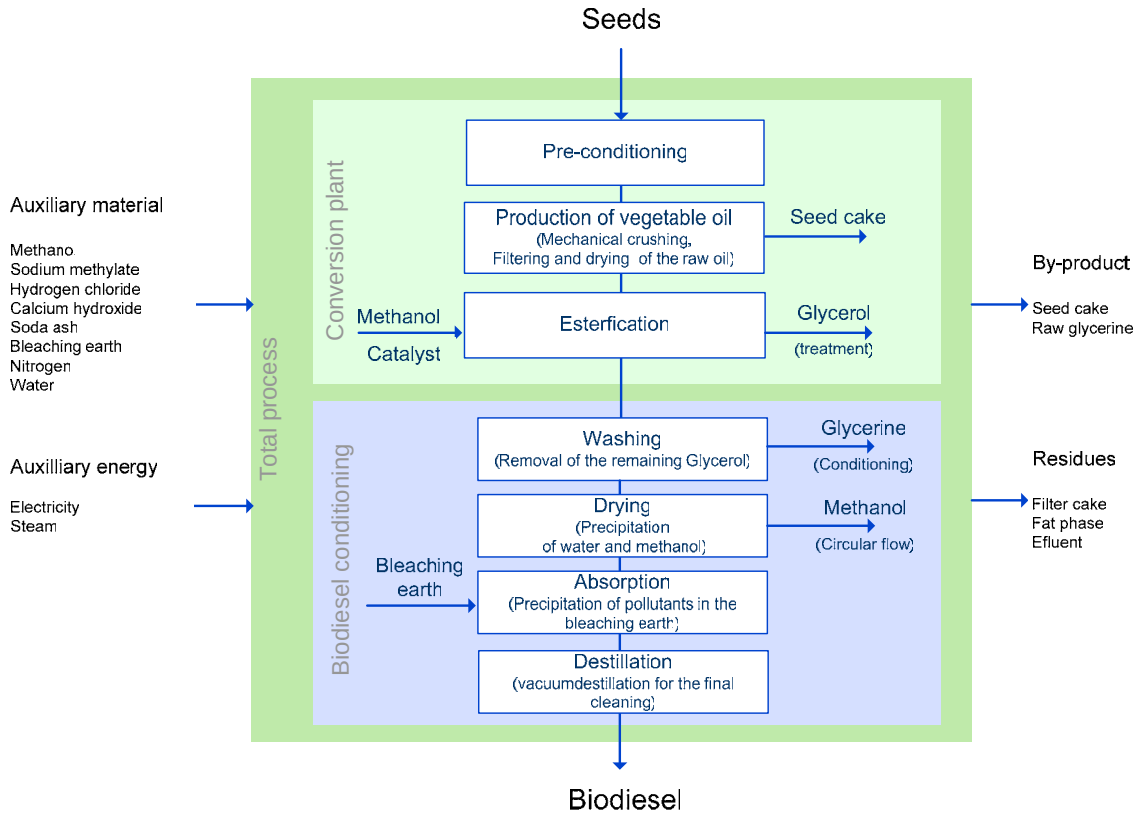


Fig. 3-8 Reference concept II: Industrial oil mill-biodiesel plant (annex plant)

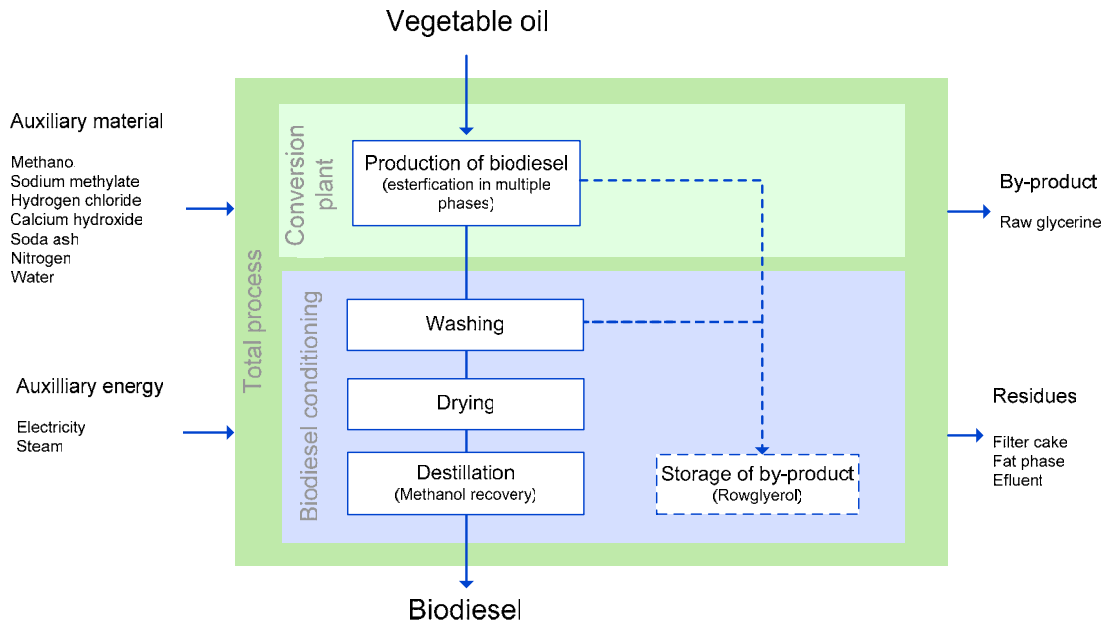


Fig. 3-9 Reference concept III: Industrial biodiesel plant

3.2.4.3 Reference concepts III: industrial multi-feedstock biodiesel plant

Industrial multiple-feedstock plants allow more flexibility feedstock choice as operators of that plant type can react on price fluctuations for the different feedstock's. However, multiple sources will require strict quality control for the feedstock's as well as the final product. The process are more complex (cf. section 3.2.3.2), with provision for one or more pre-treatment steps available to ensure suitable feed to the primary transesterification. However, through this it is possible to handle feedstocks with high FFA content of up to 20 %. These plants mainly use recycled oil as feedstock and have a typical plant size of around 50,000 t/a (Fig. 3-10).

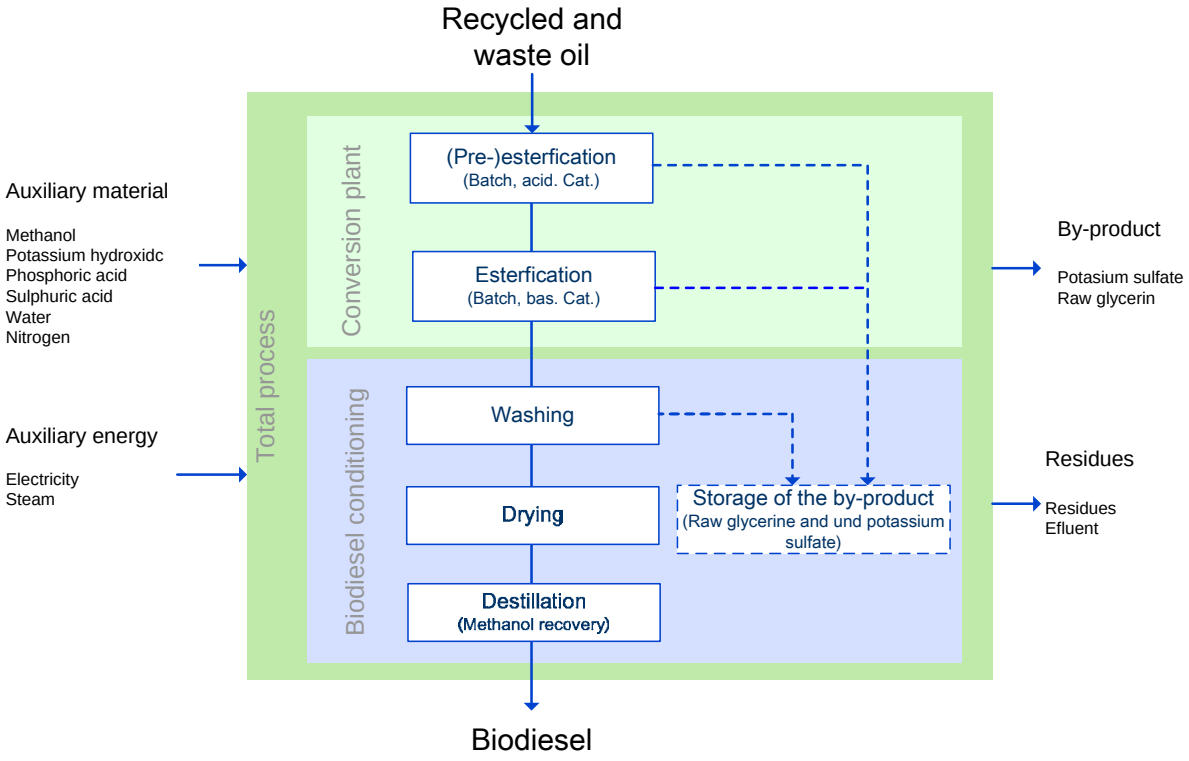


Fig. 3-10 Reference concept IV: Industrial multi-feedstock biodiesel plant

The mass and energy flows for the reference concepts, i.e. all in- and out put flows such as feedstock, utilities (e.g. transesterification, catalytic and cleaning agents), auxiliary energy, biodiesel product and by-products (e.g. press cake from vegetable oil production, glycerin and distillation residues can be displayed as follows.

Tab. 3-4: Process data of the reference concepts

Reference concept		**I**	**II**	**III**	**IV**
Characteristic installation					
Mode of operation		discontinuous	continuous	continuous	discontinuous
Feedstock	[-]	oil seeds/fruits	oil seeds/fruits	oil	tallow/grease
Max. FFA-content		< 1	< 1	< 1	< 20
Capacity	[t_{Bd}/a]	3,600	93,750	93,750	46,875
Full load hours	[h/a]	6,000	7,500	7,500	7,500
Mass & energy flows					
Input	[t/t_{Bd}]	~3.3 to 9.1	~2.9 to 6.8	~1	~1
Electricity	[kWh_{el}/t_{Bd}]	~236	~196	~12	~43
Steam	[kWh_{th}/t_{Bd}]	~300	~470	~211	~639
Crude glycerin	[t/t_{Bd}]	~116	~129	~129	~113

3.3 Product quality of biodiesel

In the present section the impacts of important biodiesel characteristics on engine operability and emissions will be discussed. Apart from that, limits within the current biodiesel standards will be listed and the factors of influence on the biodiesel quality according the feedstock and the technology will be discussed.

3.3.1 International biodiesel standards

Standards are of high importance for the producers, suppliers and users of biodiesel. Authorities need approved standards for the evaluation of safety risks and environmental pollution. Standards are necessary for approvals of vehicles operated with biodiesel and are therefore a prerequisite for the market introduction and commercialization of biodiesel. If new fuels appear in the market engine and injection system manufacturer have to investigate the suitability. They also need standardized products with a homogenous quality. Unlike the process of setting fuel quality standards for petrol or diesel, there is currently no uniform industry accepted quality standards for biodiesel in México. There are however examples of quality standards for biodiesel internationally and these will be compared and discussed.

There are two major biodiesel standards that are most referred to, namely, the European standard for biodiesel so called EN 14214 and the U.S. standard specifications for biodiesel Fuel so called ASTM 6751. The European standard for biodiesel as automotive diesel fuel defines biodiesel as fatty acid methyl ester (FAME) to be used either as pure fuel for diesel engines in a 100% concentration or as an extender for automotive fuel for diesel engines in accordance with the requirements of EN 590 (CEN diesel standard), a blending of 5 %. As far EN 14214 defines biodiesel as FAME, therefore the standard is restricting biodiesel to be produced with methanol. In Europe biodiesel is predominantly produced from rapeseed oil, and most information and data available deals with the practical experience gained in the use of rapeseed oil methyl ester (RME). Therefore the biodiesel standard in the EU was developed based on rapeseed. US standard for biodiesel is defining biodiesel as mono alkyl esters of long chain fatty acids derived from vegetable oils or animal fats. In the U.S. soybean is the main feedstock for biodiesel production therefore the parameters for the biodiesel standard was fixed on soybean oil (Zhang, 2003).

Another international standard is the Brazilian biodiesel standard ANP 255 and was released in 2003 by the National Petroleum Agency (Agência Nacional do Petróleo, ANP). The Brazilian biodiesel fuel standards is based on ASTM D6751 and CEN EN 14212 that ensures good quality biodiesel fuel used as blended fuel (FBDS, 2005).

The parameters in specified in these standards are nearly the same and nearly in the same limits. The main differences between the standards are the intend fields of application and the applied test methods. In comparison to the European standard the lower number of parameters (14 against 22 in Europe) is remarkably, which allows more flexibility in feedstocks being used for the production. In Tab. 3-5 limits in the European, the Brazilian and the US fatty methyl acid standard are listed. Comparing the limits, it has to be attested that the European standard tends to be stricter than the US norm, either displaying more stringent limits e.g.

viscosity, cetane number; or providing limits on parameters which are not regulated in the ASTM norm at all e.g. ash content, oxidation stability. ANP 255 contains most of the parameters listed in ASTM D6751 together with five other parameters from CEN EN 14212. Parameters included from CEN EN 14212 are: kinetic viscosity, acid number, cloud point, copper corrosion and specific gravity. The Brazilian standard ANP 255 is also more flexible in terms variety of vegetable lipid sources (EnAu, 2005, FBDS, 2005).

Tab. 3-5: International quality standards for biodiesel (FBDS, 2005, EnAu, 2003)

PROPERTIES	UNIT	Brazilian standard ANP 255	U.S. standard ASTM D- 6751	European standard EN 14214
Flash Point	(ºC) min.	100	130	101
Water and sediments	(%-vol.) max.	0.05	0.05	-
Viscosity cin. 40ºC	(mm^2/s)	2.5 to 5.5	1.9to6.0	3.5 to 5.0
Sulphated Ashes	(%m/m) max	0.02	0.02	0.02
Sulphur	(%m/m)	0.0001	0.05	0.0001
Corrosivity to copper 3h – 50ºC,	max.	1	3	1
Cetane number	min.	45	47	51
Carbon residue	(%m/m) max.	0.05	0.05	0.03
Acidity	(mg KOH/g) max	0.8	0.8	0.5
Free Glycerin	(%m/m) max.	0.02	0.02	0.02
Total Glycerin	(%m/m) max.	0.38	0.24	0.25
Distillation 95% of the recovered	(ºC), max.	360	360 (90%rec.)	-
Specific mass at 20ºC	(kg/m^3)	850 – 900	0	860 to 900 at 15ºC
Methanol or ethanol content	(%m/m) max.	0.5	-	0.2
Iodine value	max.	Annotate	-	120
Monoglycerides	(%m/m) max.	1.00	-	0.8
Diglycerides	(%m/m) max.	0.25	-	0.2
Triglycerides	(%m/m) max.	0.25	-	0.2
Alkaline metal content (Na + K)	(mg/kg) max.	10	-	5
Ca + Mg	(mg/kg)		-----	5
Phosphor content	(mg/kg) max	10	-----	10
Oxidation stability at 110ºC	(h) min.	6	To be defined	6
Contaminants	(mg/kg) max.		-----	24
Ester content	(%m/m) min.		----	97
Methyl Esters from linoleic acid	(%m/m) max.	-------	-------	12
Polyunsaturate (> 4 double bindings)	max.	-------	--------	1

3.3.2 Factors of influence on the biodiesel quality

This section of the technical feasibility outlines parameters for biodiesel that can potentially be specified in a biodiesel quality standard. As mentioned above the quality of biodiesel is depended on the one hand side on the properties of the feedstock and on the other side on the

production technology. The main properties of biodiesel that are determine by the structure of its component fatty esters include the cold flow properties, cetane number, oxidation stability, iodine value and viscosity.

One of the main parameter according quality issues are the **cold flow properties**. The low temperature operability of diesel fuel is commonly characterized by three tests used to measure the cold flow properties - the cloud point (CP), cold filter plugging point (CFPP) and pour point (PP). The value to be reached depends on the region of use, but the result is directly related to the type of oil, which was used for the biodiesel production. High values could limit biodiesel utilization in cold weather regions. Saturated fatty compounds have significantly higher melting points than unsaturated fatty compounds and in a mixture they crystallize at higher temperature than the unsaturated oils/fats. Thus biodiesel fuels derived from fats or oils with significant amounts of saturated fatty compounds like animal fats or palm oil will display higher in comparison to e.g. rapeseed oil. Several approaches to the low-temperature problems of esters have been investigated including blending with conventional diesel fuels, winterization, additives, branched-chain esters, ad bulky substituents in the chain (Tyson & McCormick, 2006).

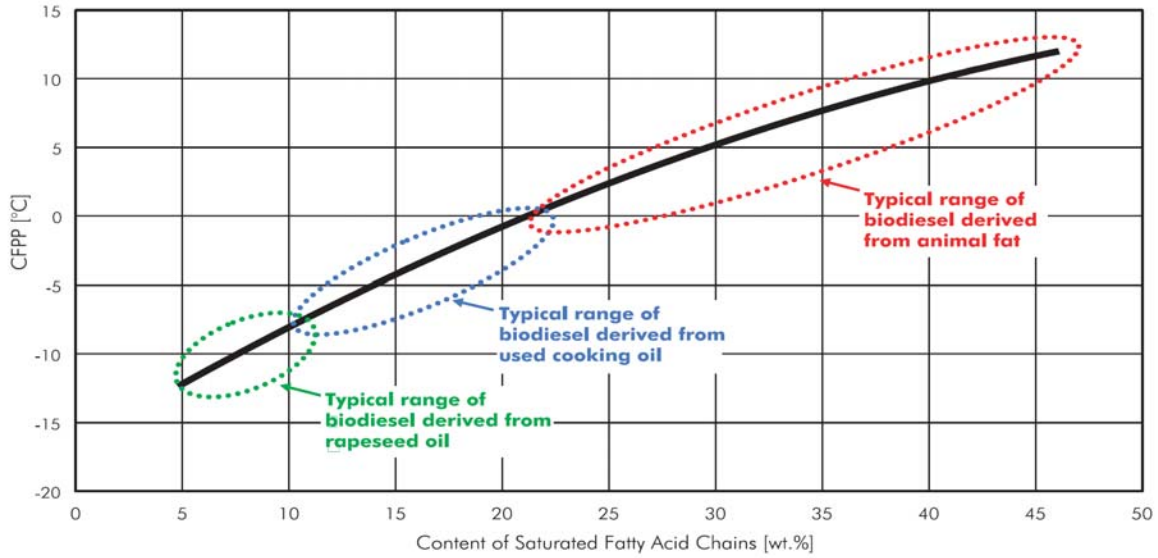


Fig. 3-11 Relation between content of saturated fatty acids in biodiesel (without additives) and its CFPP value (Hilber, 2005)

A chemical property that also is correlated with the fatty acid composition of the feedstock is the **cetane number**. The cetane number is the indicator for ignition quality. High cetane numbers contribute to easy cold starting and low idle noise. As well they are correlated with reduced nitrogen oxides (NO_X) exhaust emissions. In general the cetane number oils/fats decrease with increasing saturation and increase with increasing chain length, i.e. uninterrupted CH_2 moieties (EnAu, 2003).

Even if the **oxidative stability** is influence of parameters such as presence of air, heat and light the influence compound structure of the fatty esters is even greater. More in detail the

oxidative stability depends strongly on the rate of saturation of the feedstock used. The **iodine value** is an indicator of the saturation of the fuel, which has been linked with formation of engine deposits and problems in storing the fuel. Biodiesel with high iodine numbers also tend to polymerize and form deposits on injector nozzles, piston rings grooves. Iodine values have been found to correlate with viscosity and cetane number, which both decreases with increasing degree of saturation. Palm and sunflower methyl esters have comparatively low iodine values, rapeseed oil methyl esters have iodine values up to 120 what represent the limit according the European standard, and soybean- as well as sunflower oil- methyl esters have both iodine values around 130. Therefore EN 14214 excludes pure soybean-, sunflower- and safflower oil methyl esters from serving as a fuel (Zhang, 2003).

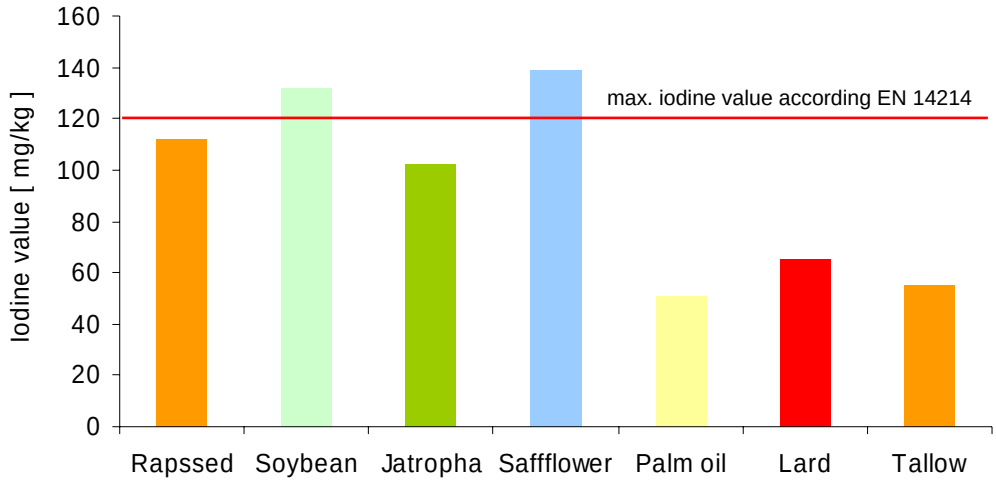


Fig. 3-12 Iodine values of biodiesel derived from different types of oils/fats (Hilber, 2005; EnAu, 2003)

Biodiesel **viscosity** is correlated to the iodine number of biodiesel. One of the main reasons for processing oils/fats for use in engines is to reduce the viscosity thereby improving fuel flow characteristics. The viscosity of pure vegetable oils is 10 to 15 times greater than the viscosity of diesel. Transesterification of vegetable oils produces esters with a viscosity of approximately twice that of diesel. Viscosity is also an indicator of polymerisation of biodiesel and increases as a function of thermal and oxidative degradation.

Phosphorous content is derived from the feedstock as well. Phosphorous in fatty acid methyl esters mainly stems from phospholipids containing in the feedstock. The type of oil recovery strongly influences the final phosphorous content. Cold pressed oils usually contain less amount of phosphorous than hot pressed one. Biodiesel with high phosphorous content are suspected of decreasing the efficiency of oxidation converters and causing higher particular matter emissions (TFZ, 2002).

The impact of **free fatty acids** (FFA) on the biodiesel production process has been discussed extensively elsewhere. While the FFA content can impact the production process by deactivating the catalyst, creating soap, and by releasing water when they are converted to esters, they do not seem to impact the final acid value of the biodiesel.

In summary the fuel properties of biodiesel are strongly influenced by the properties of the feedstock that means the individual fatty ester profiles. In general the cetane number, melting point and viscosity of fatty esters increase with increasing chain length. Furthermore a ideal feedstock regarding combustion characteristics, oxidative stability and cold flow behavior consist only out of monosaturated fatty acids.

The main important properties of biodiesel related to the production technology are, namely, the contents of free and total glycerin, the residual methanol content, the amount of phosphor, sulfated ash, water, flash point and the acid value.

The content for **free** and **total glycerin** in biodiesel depends on the production process and is therefore a major criterion of fuel quality. On the one side glycerin is formed due to hydrolysis of reaming mono, di- and triglycerids in stored fuel. On the other hand high values may stem from insufficient washing of the ester product. Free glycerol separates within the fuel tank and can causes damage to the injection system. A higher content of free glycerol may cause problems during storage or in the fuel system due to separation of glycerol, or can lead to injector fouling or the formation of higher aldehyde emissions.

Residual methanol in the biodiesel product is removed by distillation or by washing steps after the transesterfication. Residual methanol is a safety issue as even a very small amount will reduce the flash point greatly. Besides, methanol can also affect fuel pumps, seals and elastomers.

Sulfur in biodiesel is sourced from the crops and animal fats used as feedstock. Most virgin or first use vegetable oil and animal fat based biodiesel has less than 15 ppm sulfur, however it has been found that recycled cooking oil can contain up to 40 ppm sulfur. This sulfur is suspected to originate from food cooked in the oil. Caution is also recommended for feedstock from slaughterhouse waste fats as hairs contain sulfur and will lead to higher values than 10 ppm. Combustion of fuel containing sulfur causes emissions of sulfur dioxide and particulate matter. Sulfurous emissions can also lead to poisoning of post-treatment devices; however, this largely depends on operating conditions.

3.4 Biodiesel distribution and use

In the following section aspects related to the biodiesel distribution to the end user and its application in vehicles fleets are considered (Fig. 3-13).

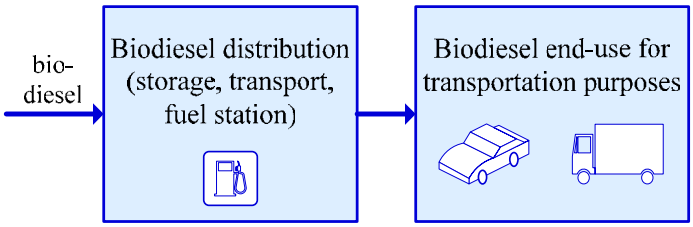


Fig. 3-13 Biodiesel distribution and end-use

3.4.1 Generalities

Generally, biodiesel (B-100) or biodiesel blends (e.g. B-20) can be distributed and used similar to petroleum diesel. However, the properties (i.e. particularly oxidation stability and viscosity) that are different depending on feedstock applied for biodiesel production are of importance. Thus, maintaining fuel quality is a key issue. Additional important issues of biodiesel blending and handling are the stability and the cold flow properties of the pure biodiesel and blends.

As with petroleum diesel, biodiesel has to be transported in a way that does not lead to contaminations. Basically, this is realized by conventional tank vehicles. The first biodiesel pipeline (length about 2.7 km, capacity 95,000 t/a) in Europe was recently commissioned (June 2006) closed to the oil harbour Lobau (Austria). However, careful attention has to be made concerning biodiesel mix with other fuels as well as the injection of water. Moreover biodiesel must be stored and handled using procedures which do not allow the temperature to drop below its cloud point. In addition to that biodiesel temperature, the ambient temperature, and the time the fuel is in transport should be taken into account (Tyson & McCormick, 2006). Biodiesel filling stations need to fulfill largely the same requirements as petrodiesel filling stations; generally, individual states requirements concerning facilities for filling and transferring water-endangering substances need to be attend.

Biodiesel with defined quality (cf. section 3.3) can be used in existing diesel combustion engines. Since biodiesel is a non-fossil fuel alternative to petrodiesel, it can be used in pure form (B-100) or may be blended with petroleum diesel at any concentration in most modern diesel engines (i.e. direct and indirect ignition as well as common rail engines).

3.4.2 Experiences and recommendations

3.4.2.1 Distribution

Generally biodiesel resistance materials have to be applied (e.g. synthetic rubber, aluminum, steel); components made of zinc, copper and copper alloys should be avoided, since biodiesel can decompose some zinc layers and result in a formation of soap and copper acts as an oxidation catalyst and accelerates drops in oxidation stability. Regarding filling stations standard hose's outer jacket is often not lastingly resistant to biodiesel (AGQM, 2006; IEA, 2005).

Free water in the fuel system causes corrosion and fuel degradation; water enters in the tank mostly by air. It is thus recommended to all parties thereto of the biodiesel transport chain to observe that water injection to biodiesel will be eliminated during biodiesel handling (i.e. loading and discharge of tank vessel, delivery at fueling station) and transport. Unnecessary handling of biodiesel should be avoided with regard to fuels quality (AGQM, 2006). Moreover, following suggestions have been made by (Tyson & McCormick, 2006):

- proper inspection and/or washout as well as drying of tank, hoses and seals,
- check for previous load carried and residuals (e.g. oils, gasoline, lubricants, water); only diesel fuel is acceptable as a residual,
- determination of need for insulation or method to heat truck or rail car contents if biodiesel is shipped during cold weather.

In the winter, most biodiesel is shipped either (i) at least warm in trucks for immediate delivery, (ii) hot in railcars for delivery within a week or (iii) in a blend with winter diesel, kerosene, or other low cloud point fuel in either railcars or trucks (Tyson & McCormick,- 2006).

3.4.2.2 Use

Although biodiesel has combustion properties very similar to petrodiesel, including combustion energy and cetane ratings, the combustion process is different compared with petroleum diesel. Ideally, engine and exhaust-gas re-treatment system has to be matched by the fuel parameters (as in the case of petroleum diesel) in order to ensure observance of emission limits (AGQM, 2006). However, due to the slightly lower calorific value compared to petrodiesel efficiency losses or a slightly higher biodiesel fuel demand per km respectively can be occur. The latter vary significantly depending on the operational area of vehicles (e.g. passenger car, industrial vehicles and tractor); experiences values are in the range of few percent up to 5 %, seldom even up to 10 %.

Biodiesel is a better solvent than petrodiesel and has been known to break down accumulated deposits of residue in the fuel lines of vehicles that have previously been run on petrodiesel. Thus, fuel filters can be clogged with particulates in case of an expeditiously switch to pure biodiesel. It is, therefore, recommended to change the fuel filter within e.g. 1,000 to 1,200 km after first switching to a biodiesel blend.

When applied in vehicles without release of automobile manufacturer for biodiesel, gaskets and hoses can become brittle and leaky owing to degrading of plasticizer of natural rubber (because of the solvent effect of biodiesel). Thus, biodiesel using cars should be equipped with materials (e.g. synthetic rubber) which are non-reactive to biodiesel. However, most elastomers used after 1993 are compatible with B 100, the effect of blends (B-20) is less or non-existent (IEA, 2005).

Long experiences in the sector of passenger cars and commercial vehicles show that long-lasting use of biodiesel can cause deterioration in vehicle fuel pumps; this is particularly true for direct fuel injection engine. Additionally, biodiesel increases fuel lubricity even at very low blending levels (IEA, 2005). It can accumulate in engine lubricating oil especially during low-load operation by commercial vehicles[3](e.g. resulting in higher abrasions of diesel

[3] Since biodiesel has a higher boiling point than petrodiesel, it does not exhale out of the hot engine lubricating oil, which result in a creeping increase of biodiesel content in the lubricating oil. This in turn can result in undesirable deposits because of the decomposition of biodiesel due to its lower chemical stability of biodiesel. As a final result diesel engine are exposed to higher abrasions.

engines).Thus, shorter intervals for changing engine lubricating oil are required when biodiesel is applied (AGQM, 2006). Long-term effects of biodiesel with an insufficient oxidation stability or soap deposition (non-compliant proportions of alkaline and alkaline earth elements) on injection pumps are exemplarily shown in Fig. 3-14.

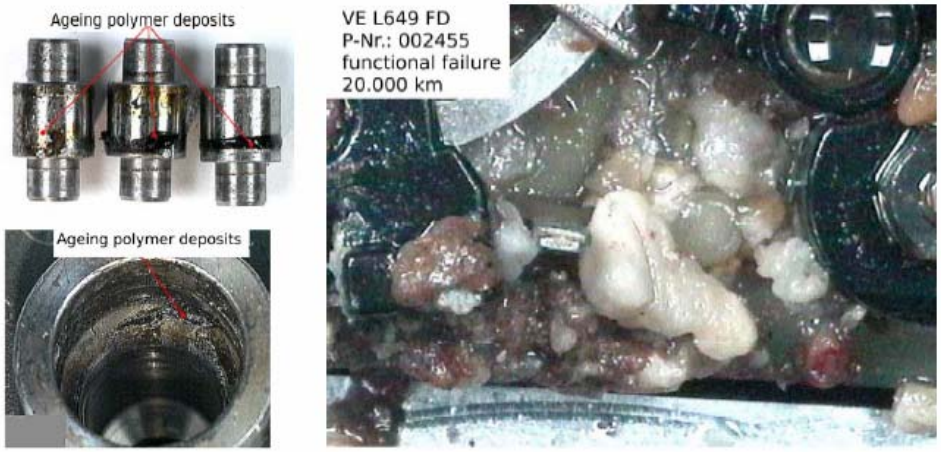


Fig. 3-14 Long-term effects of oxidation stability (left) or soap deposition (right) on injection pumps (AGQM, 2006)

The favorable biodegradability can be detrimental when biodiesel is used. Biodegradability is associated to an adverse deterioration stability and bacteria decay; oxidation and water injection also deteriorate biodiesel properties in case of long-time storage. Accordingly, corrosion or abrasion (particularly within the injection pump) and thus malfunction can be occur.

First experiences using biodiesel in Mexican public buses have by all means shown positive results with regard to exhaust gas emissions (primarily particulate matter (PM), soot and the characteristic smell of diesel fuel).

4 ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS

In addition to quality criteria for the produced biodiesel, specific biodiesel production and provision costs are of importance for the implementation on a commercial transportation fuel market in Mexico. Therefore, an economic feasibility analysis for biodiesel production is carried out for the different reference concepts (cf. section 3.2.4). With respect to the process sheets the overall costs for biodiesel production (i.e. all expenditures and revenues) are analyzed under Mexican frame conditions. Moreover, the cost analysis is exemplarily done for model production plants at agricultural as well as industrial scale. In practice the costs are related to the specific local conditions and specific production plant design.

4.1 Methodical approach

According to the whole supply chain of biodiesel, the economic analysis is focused on the cost analysis related to biodiesel production; the biodiesel production costs itself and the economic efficiency. Therefore, the same system boundary is applied as for the technical feasibility analysis (cf. chapter 3); i.e. all incoming feedstock as well as utilities and auxiliary energy flows as well as products (biodiesel) and by-products (e.g. glycerin, press cake) flows are considered free plant gate. As follows a description of the applied calculation model as well as frame conditions is given.

4.1.1 Calculation model

For the determination of total biodiesel production costs and the economic efficiencies of the different reference concept a calculation model is applied based. The specific biodiesel production costs are calculated by using the annuity method (VDI, 1996). Moreover, specific economic efficiencies are assessed with regard to the cash flow of the biodiesel plant. This cash flow analysis involves the calculation of the annuity and the internal rate of return (IRR) as an indicator of the economic efficiency.

The principle of the calculation model is shown in Fig. 4-1. Within this model for each reference concept main cost components to be involved are on the expenditure side (i) capital investment for plant and plants periphery, (ii) operation and maintenance such as for utilities, waste, personal, (iii) feedstock and on the revenue side (iv) credits for by-products. Based on this annual expenditures and revenues the specific biodiesel production costs are calculated as average cost of all periods taking into account the annual biodiesel production rate and the annual inflation rate. In addition, annuity and IRR are calculated for the comparison of the different concepts in terms of economic efficiency.

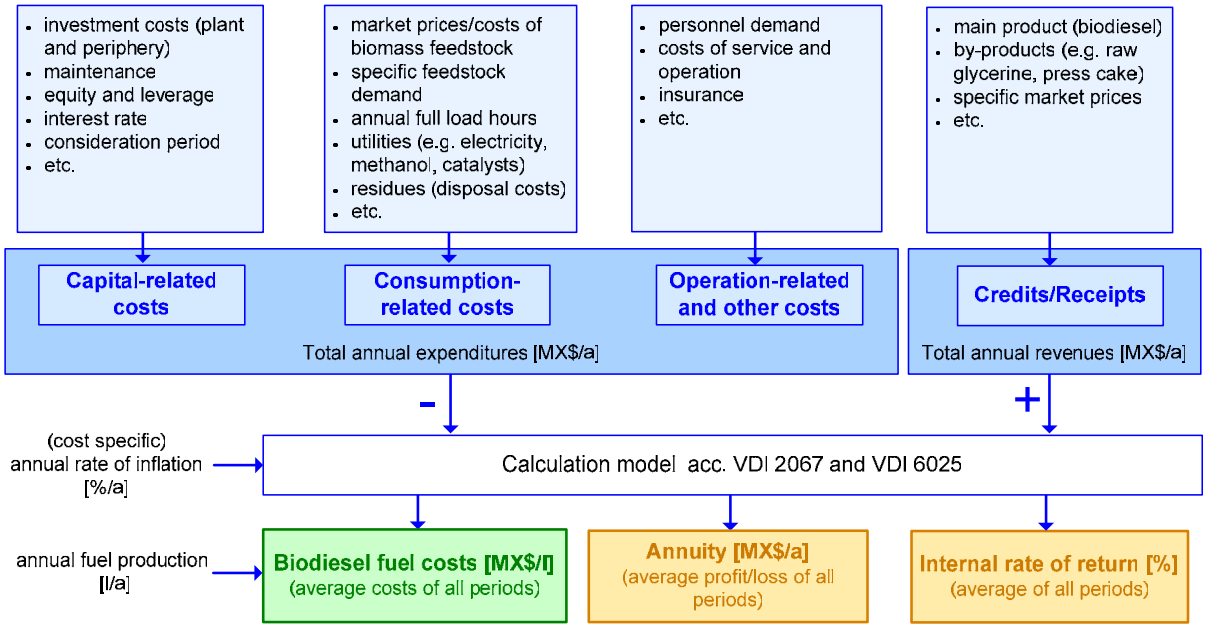


Fig. 4-1 Calculation model for biodiesel production cost

Moreover, a sensitivity analysis is carried out to primarily evaluate the effect of potential uncertainties of the assumed parameters and secondly show the influence of future price evolutions (e.g. feedstock). For this purpose, reasonable parameters are varied by means of the applied calculation model. Regarding biodiesel fuel costs, the main cost components (e.g. capital, feedstock, by-products) and the annual full load of the plant will be varied within realistic ranges. Additionally, this determination is done for economic efficiency.

To identify whether subsidies are required for the implementation of biodiesel on the Mexican market, the determined biodiesel production costs will be compared to present and projected diesel prices (coming from Task A). Furthermore, cost aspects of biodiesel distribution and the use of biodiesel as blends or straight fuel will be investigated.

4.1.2 Frame conditions

There are many aspects to be considered, such as scale, plants location, processing technology as well as feedstocks and any (by-)products that can be marketed. For instance, a biodiesel plant that is dependent on purchasing the required feedstock faces different conditions than one that has an assured or captive feedstock supply. As mentioned within the technical feasibility analysis (cf. chapter 3), wide experiences of mass and energy flow is known for biodiesel production plants based on rape seed. This is also the case for the cost analysis. Since biodiesel production cost primarily depend on feedstock prices or provision costs respectively the cost analysis of total capital investment as well as operation costs are based on reference model plants for rape seed.

4.1.2.1 General assumptions

For the economic analysis it is assumed that the reference biodiesel plants are new, disregarding their competition to existing plants and the plant utilization is considered to be in equivalent full load hours. Moreover, the current frame conditions are the basis for a common comparison of the biodiesel concepts.

In general, parameters such as specific taxes (e.g. petroleum tax subsidies) and tariffs, fluctuating revenues and expenditures incurred during start up, salvage and decommissioning of the plant are not taken into account. The economic lifetime (i.e. typical consideration period for investment sector) is assumed to be about 10 years.

The annual inflation rate is in a wide range for different industrial sectors (e.g. metal industry, import/export); moreover, they are subject to fluctuations. Regarding the assessment of the general economic feasibility, an average inflation rate of annually 5.5 % is assumed, that correspond to the general inflation rate, given as average of the time horizon of January 2000 to May 2006 (Banco de Mexico, 2006).

Furthermore, for the monetary profit a interest due of about 7 % is considered according to the "Certificados de la Tesorería de la Federación" (CETES) (Banco de Mexico, 2006). If a biodiesel company is listed on the stoke exchange interest dues of more than 30 % are realized within the last year. However, this case will be not addressed within this study.

4.1.2.2 Capital-related costs

These costs are based on the total capital investment (i) of the biodiesel plant itself (either including oil mill and biodiesel production unit or only the latter), (ii) costs for periphery or land respectively as well as (iii) plant development and engineering costs. Moreover, maintenance costs for plant devices those have to be periodic renewed during, equity and leverage as well as interest rate and consideration period are taken into account.

Capital investment and maintenance costs

For the cost calculation within this study capital investment for the biodiesel plants of the different reference concepts are estimated for the appropriate reference concepts based on existing experiences from commercial plants in Europe, the U.S. and Mexico[4]. A higher capital investment can be assumed for biodiesel plants including crusher and refining systems for oil production. Generally, due to economy of scale the specific capital investment decreases with increasing biodiesel plant capacity. Land cost for industrial developments and thus for biodiesel plants strongly depends on location and available infrastructure. For that purposes industrial parks in central Mexico have been investigated[5], the land cost of which vary between 14 and 400 US$/m². For this study about 872 MX$/m² (80 US$/m²) is

[4] cf. section 2.2.

[5] An overview is given in the Appendix Table A-1

considered to be a representative cost. Moreover, according to existing biodiesel plants typical factors for "required land per plant capacity" are taken into account:

- agricultural scale: 0.33 m^2/t_{fuel} for plants including oil production,
- industrial scale: range of 0.075 m^2/t_{fuel} for plants without and 0.27 m^2/t_{fuel} for plants including oil production; 0.085 m^2/t_{fuel} for multi-feedstock plants

The assumed total investment costs are summarized as follows (Tab. 4-4).

Moreover, annual maintenance costs are assumed to be 1.5 % of the total capital investment.

Tab. 4-1 Total capital investment (average) reference concepts (IE, 2006)

Reference concept	**Feedstock**	**Capacity [t/a]**	**Capital investment plant* [1,000 MX$]**	**Land costs [1,000 MX$]**	**Specific total capital investment [1,000 MX$/$MW_{fuel}$]**
Agricultural oil mill-biodiesel plant (small-scale)	oil seeds	3,600	11,800	1,040	2,100
Industrial oil mill-biodiesel plant (large-scale)	oil seeds	93,750	310,900	23,550	2,590
Industrial biodiesel plant (large-scale)	vegetable oil	93,750	184,800	6,540	1,490
Industrial multi-feedstock biodiesel plant (large-scale)	(waste) vegetable oil, animal fats, tallow	46,900	268,600	3,706	4,170

* including plant development and engineering costs

Capital share and interest rate

Under the Mexican conditions small and medium-sized businesses tend to invest high equities as bank interests are relatively high and economical financing of banks are rarely to access. Moreover, expectations with regard to capital return are at least of annually 15 to 20 %. Therefore, an equity of about 50 % of the total capital investment and return rate of 20 % is considered. For industrial and foreign companies an equity of about 30 % and return rate of 15 % is assumed. This is also true for the typical bank interests for the appropriate leverage at industrial scale. More economical credits are also available from international development banks; For instance, the North American Development Bank offers credits for 50 % leverage (in the future up to 80 %) at the rate of annually 5 to 6%; however, this is only valid for project closed to the border of the U.S. from up to 300 km.

4.1.2.3 Consumption-related costs

Feedstock

As known from experiences and existing studies, the feedstock prices/costs are of most important influence to the total biodiesel production costs. In the following information on representative (i) oilseeds prices, (ii) vegetable oil prices, (iii) animal fats (i.e. beef tallow) are given. Wholesale vegetable oil prices are relevant if the feedstock is intended for processing at an industrial large-scale biodiesel plant without oil mills, whereas prices for oilseeds paid directly to the farmer may be of greater interest for agricultural biodiesel plants with oil mill. For industrial biodiesel production plants it is assumed that vegetable oil is delivered in a quality that is required for the appropriate reference concept. A summary of prices/costs assumed for this cost calculation is given in Tab. 4-2.

Tab. 4-2 Feedstock prices or costs respectively (Lazcano, 2006; ITSEM, 2006; IE, 2006)

Kind of feedstock	Market price / costs		Notes (e.g. properties, market relevance)
	Range [MX$/t][a]	Used for cost calculation [MX$/t]	
Oil seeds/fruits[b]			
Sunflower	2,367 to 3,129	2,750	
Rape seed	2,839 to 3,927	3,380	
Safflower	2,255 to 2,875	2,570	
Soy bean	2,356 to 3,000	2,680	primarily imported today
Oil / African palm	487 to 627	560	primarily private produced today
Jatropha	1,660	1,660	not commercially produced today
(Crude) Vegetable oil[c]			
Sunflower oil	4,140 to 5,341	4,740	
Rape seed oil	4,578	4,580	
Safflower oil[f]	12,640 to 15,000	6,910	today primarily traded in very small charge units
Soy bean oil	4,469 to 6,289	5,380	
Palm oil	3,270 to 4,750	4,010	production and whole sale price in Mexico
Jatropha oil	n.a.	3,800	not commercially produced today
Grease/cooking oil			
Yellow grease	4,400[d]	4,400	FFA < 20 %
Animal fats			
Beef tallow	3,500[e] to 5,200[d]	4,350	FFA < 10 to 12 %

[a] Currency exchange rate 2006: 1 US$ = 10.9 MX$
[b] Average rural price, data based on agricultural year 2004/2005
[c] most important wholesale vegetable oil and fat providers in Mexico, many of which agreed to provide prices
[d] exclusive VAT
[e] exclusive transport
[f] prices based on market prices for bottled safflower oil (á 12 l of 145 to 165 MX$) that is usually traded at present; for energetic use a whole sale price, which is of approx. 50 % cheaper per tone is assumed

Auxiliary substances

With regard to the technical analysis for biodiesel production via esterification and transesterification specific auxiliary substances such as alcohol (i.e. methanol), acid and alkali catalysts (e.g. hydrogen sulfide, sodium hydroxide or potassium hydroxide, for industrial large-scale also sodium methylate solution) as well as washing agents are used (cf. section 3.2.1). Since these prices do not significantly affect the total biodiesel production price, international wholesale prices are implemented in the cost calculation model (Fig. 4-1).

Tab. 4-3 Wholesale prices auxiliary substances (Methanex, 2006; IE, 2006)

Auxiliary substance	**Market price [MX$/unit]**	**Notes (e.g. properties, market relevance)**
Alcohol		
Methanol (CH_3OH)	3,630[a]	non-discounted reference price
Catalysts / Washing agents		
Hydrogen sulfide (H_2SO_4)	1,330	
Potassium hydroxide (KOH)	9,970	
Sodium methylate ($NaOCH_3$ in CH_3OH)	8,310	

[a] Currency exchange rate 2006: 1 US$ = 10.9 MX$

Consumables for supply of process energy

The following assumptions are made for auxiliary consumables that are given as average values (Presidencia, 2006; ITSEM, 2006):

- electricity: approx. 0.75 MX$/kWhel
- natural gas for process heat provision at industrial (large-)scale: 75 MX$/GJ
- oil for process heat provision at small-scale: 5.50 MX$/l

4.1.2.4 Operation-related and other costs

Personnel

Personnel cost calculation is based on the official minimum wage in Mexico of 15,000 MX$/a (i.e. monthly 1,250 MX$), inclusive social insurance contribution of approximately 35 % this is about 20,250 MX$/a. Depending on the education or business degree of the personnel the costs range from 40,500 MX$/a (e.g. semi-skilled worker), over 121,500 MX$/a (e.g. technician) to 2,025,000 MX$/a (e.g. manager of a medium or large sized company) (ITSEM, 2006). For the cost calculation the following personnel costs per employee are assumed:

- agricultural plants: 81,000 MX$/a
- industrial plants: 121,500 MX$/a

Insurance and Services

Regarding a common standard, annual costs for insurance and services are considered as each of 1 % of the total capital investment within the cost calculation.

4.1.2.5 Credits for by-products

According to the process description made in section 3.2.3 by-products accumulate during the production of vegetable oil (e.g. press cake) and – depending on used auxiliaries (i.e. catalysts

and wash solvents) – during the biodiesel production process steps (e.g. crude glycerin, fertilizer). Generally, these by-products can be offered for sale. As follows typical market aspects and credits for by-products are analyzed.

Press cake

For reference concepts of biodiesel production that include oil production from oil seeds or plants respectively press cake accumulates that can be offered as animal food. Within this cost calculation it is assumed that press cake can be disposed at current market prices. An overview is given as follows (Tab. 4-4). For press cake from palm fruit it is assumed that it cannot be used as animal food; the general possible to apply this cake for biomass combustion is not neglected. Therefore no credit can be achieved for that.

Tab. 4-4 Receipts for press cake (SNIIM, 2006; Lazcano, 2006)

Press cake	**Market price / costs**	
	Range [MX$/t]	**Used for cost calculation [MX$/t]**
Sunflower	2,500	2,500
Rape seed	2,050 to 2,500	2,280
Safflower	1,484	1,480
Soy beans	2,155 to 3,000	2,580
Jatropha	780	780

Glycerin

Glycerin is primarily used for cosmetics, food and beverages, urethane polyols, pharmaceuticals, alkyd resins, tobacco, explosives and cellophane. The current world glycerin demand is about is about 950,000 t/a. In 2005 an amount of approximately 1 to 1.1 Million tons is produced from many sources, such as (Omni Tech, 2005):

- natural glycerin is a by-product of soap and oleochemical production from vegetable oils and animal fats or tallow,
- synthetic glycerin is produced via hydrolysis of epichlorohydrin made from propylene and chlorine,
- crude glycerin – as already discussed – is produced as by-product of biodiesel production (approximately 10 % of biodiesel amount).

On the world market there is a growing imbalance of supply over demand of crude glycerin; this increasing disposal problem causes a declining of market prices. Especially, biodiesel production and market demand growth in Europe (about 28 % per year since 2000) and the U.S. (additional supply of ca. 36,000 to 50,000 tons) has commenced causing a major supply surplus of crude glycerin without enough refining capacities or demand on the market to absorb that growing volumes (EurObservER, 2006; Omni Tech, 2005). Although the glycerin consumption decreases considerably (e.g. because centers of cosmetics and pharmaceuticals production have been transferred to cheaper geographical locations such as Mexico or China), imports in the U.S. constitute at least 40 % of glycerin supply. The Europeans exported

40,000 tons of glycerin in 2003. A price overview of crude glycerin (content about 80 %) as well as the high quality pharmaceutical grade glycerin (content 99.7 %) is shown in Fig. 4-2 (Oleoline, 2004).

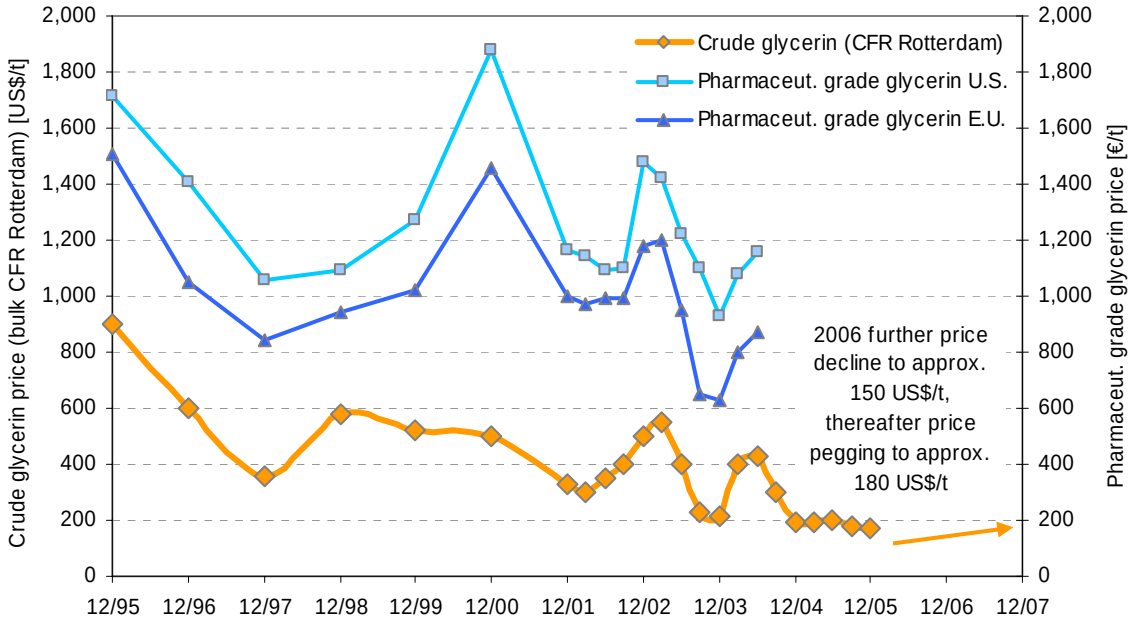


Fig. 4-2 Price evolution of crude and pharmaceutical grade glycerin on the world market

A global glycerin production of approximately 1.8 to 2.0 million tons is expected for the year 2010. The key to creating new market demand for growing crude glycerin supplies is to discover alternative end uses (e.g. aircraft deicing fluids, conversion to polyols, bioremediation and other industrial applications) for 80 % crude glycerin or an upgraded glycerin as well as their derivates (Graff, 2006).

In Mexico companies[6] such as Aprotec de Mexico, Bayer de Mexico, Industrias Crown Chemical and Sigma-Aldrich Química are industrial users of glycerin, most of which is imported. According to information from Solvey de Mexico, the price of glycerin is 17.69 MX$/kg (pharmaceutical grade). However, for the following cost calculation only crude glycerin is taken into account for which a price of 1,635 MX$/t is assumed for disposal on the market.

Other by-products

As discussed within the technical analysis, the by-product (e.g. when using hydrogen sulfide potassium based catalysts potassium sulfate occurs) and resulting from glycerol and salt treatment can be used as fertilizer. For the different Mexican regions for potassium sulfate used as fertilizer there is a price range of 3,900 MX$/t for Michoacán (Sahuayo) up to 9,200 MX$/t for Baja California Sur (La Paz) (SECOFI, 2006). With regard to sales

[6] For a complete list please see the Appendix Table A-2.

opportunities for biodiesel producer a lower level of 4,000 MX$/t will be assumed for the cost calculation.

4.1.2.6 Biodiesel distribution and use

As mentioned in section 3.4, biodiesel will be distributed similar to petrodiesel. An estimated transport cost for crude oil in tank trailers is 0.8 MX$/(kg·1,000 km) (ITSEM, 2006). The total costs for the distribution of biodiesel from an industrial plant to a blend and/or fuel station can be assumed to be in the dimension of approx. 0.34 MX$/l. Concerning biodiesel use, for biodiesel blend (e.g. B-5) the existing vehicle fleet can be applied; thus no additional costs incurred.

4.2 Biodiesel production costs and economic efficiency

The following results for biodiesel production costs and the economic efficiencies of the production plants (reference plants) are calculated by application of the above explained cost calculation model (cf. Fig. 4-1). Moreover, the results of the sensitivity analysis made for the production costs are described.

Production cost overview

In Fig. 4-3 the biodiesel production costs are shown in comparison to PEMEX diesel (without taxes and duties) in MX$ per liter PEMEX diesel equivalent (indicated as DE). Cost components such as feedstock costs, operation of the plant and capital related costs are shown as expenditures, while the credits for by-products (i.e. for press cake, crude glycerin and fertilizer) are shown as receipts; the sum of both is the outcome that are indicated as total biodiesel production costs.

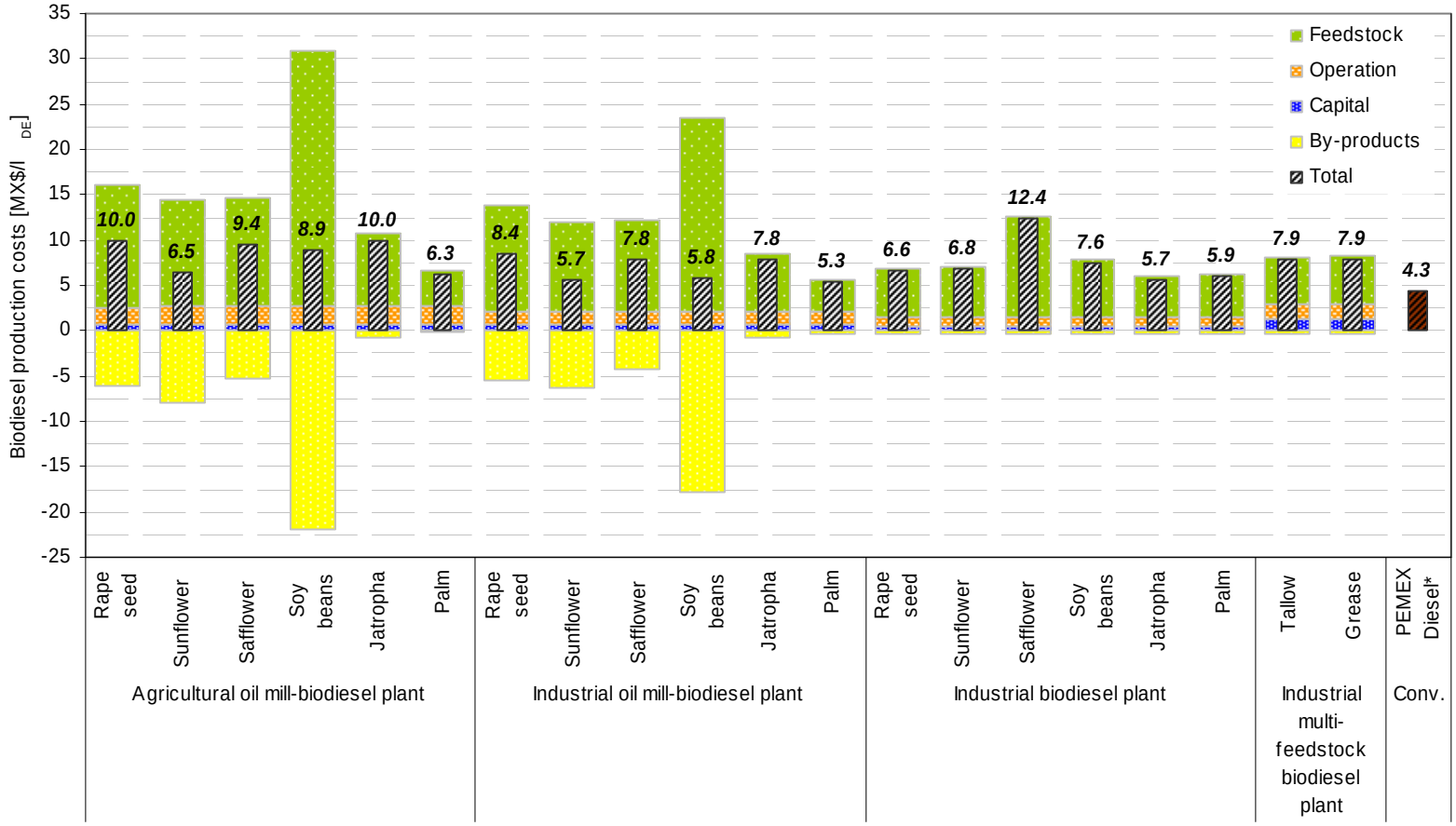


*Fig. 4-3 Biodiesel production costs (PEMEX diesel for comparison, * exclusive taxes and duties)*

The following main conclusions can be revealed:

- The cost level of biodiesel production is significantly higher (i.e. 5.3 to 12.4 MX$/$l_{DE}$) than for PEMEX diesel (4.3 MX$/$l_{DE}$). Thus, when only biodiesel is compared, it can be favorable based on palm, sunflower and soy beans. Jatropha shows in a higher cost range; however, since even the oil crop is not commercially produced today there is a high insecurity concerning the mass and cost data.
- For annex plants (i.e. oil mill and biodiesel plant) a production cost decrease occurs due to the use of different transesterification reactors (cf. section 3.2.4) and effects of economy of scale from agricultural to industrial plants.
- Since market prices are used for vegetable oils converted in industrial biodiesel plants single plants), the differences between the feedstocks show other relations (e.g. rape seed cheaper to the others when compared to annex plants).
- The feedstock costs are the most important cost component and contribute to the expenditures to about 59 % for biodiesel based on palm up to 91 % for biodiesel based on soy beans.
- In particular for biodiesel based on oil plants, which have a high content of cake (i.e. soy beans, Rape seeds, sunflower and safflower), the total biodiesel production costs are also dominated by the receipts for by-products. This is relevant to annex plants; in single plants only crude glycerin and fertilizer accumulates as by-product with only a marginal impact to the total biodiesel production costs.

In addition to that the results of the sensitivity analysis are exemplarily shown for jatropha biodiesel produced in an agricultural annex plant as well as soy bean and palm biodiesel in an industrial annex plant (Fig. 4-4 et seqq.).

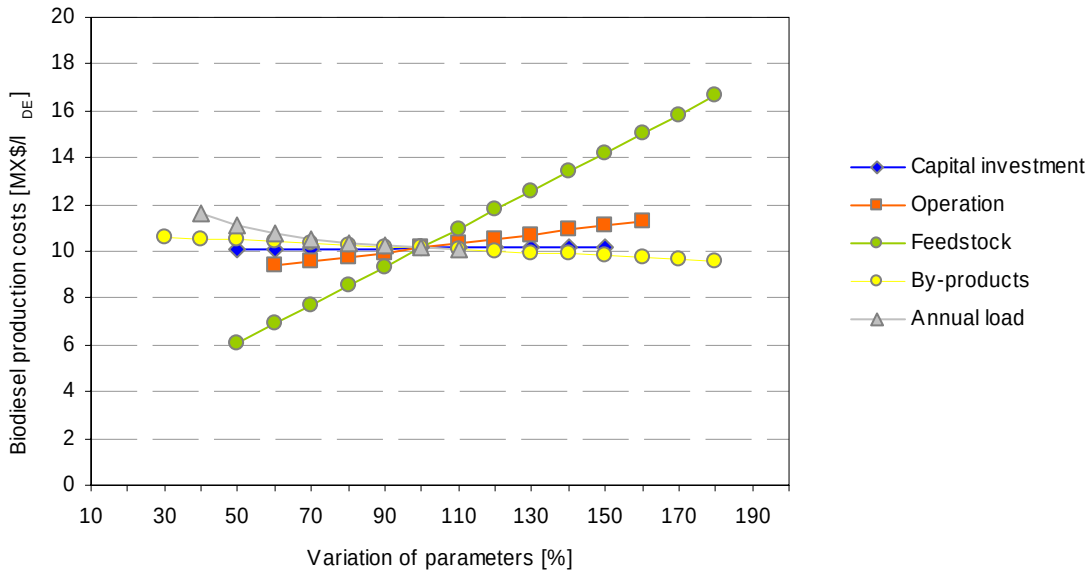


Fig. 4-4 Sensitivity analysis – biodiesel from jatropha in agricultural scale

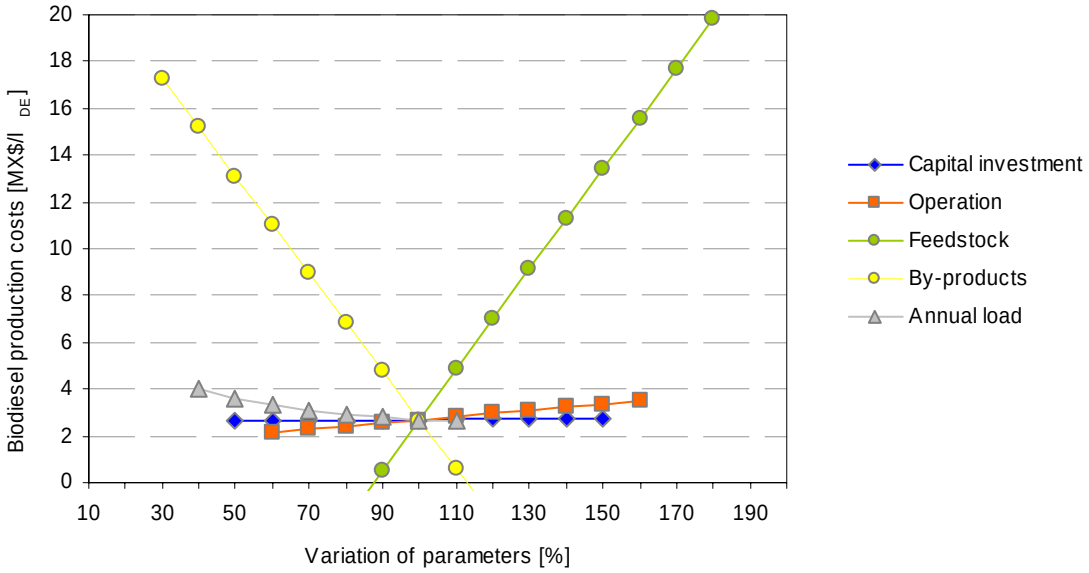


Fig. 4-5 Sensitivity analysis – biodiesel from soy beans in industrial scale[7]

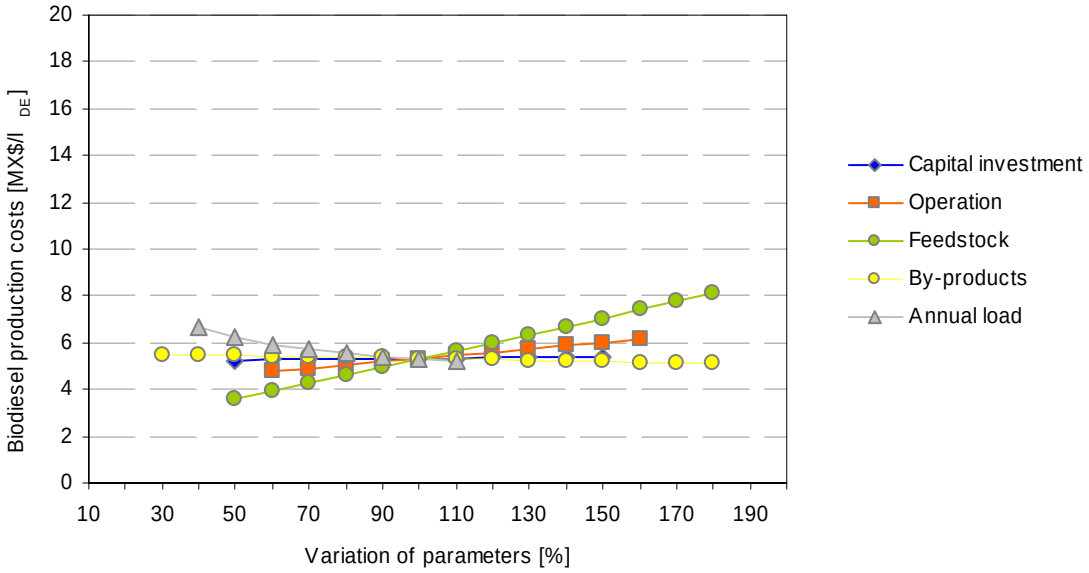


Fig. 4-6 Sensitivity analysis – biodiesel from palm in industrial scale

[7] Biodiesel based on soy beans shows a special case since the cost relations of feedstock costs and credits for press cake can outweigh each other resulting in negative production costs.

Basically for all plants it can be resumed that (i) feedstock costs are most important, in many cases followed by (ii) receipts for by-products – mainly driven by the credits for cake and the oil plant specific mass content – and/or (iii) plant operation cost; (iv) capital investment is of only marginal influence which is in turn reflected in the low impact of reduced annual load. For the annual load of biofuel plants it is true that the higher the capital investment and thus the fixed costs, the higher the impact of annual load of a plant. For instance, bioethanol typically is more capital intensive; thus the operational availability is crucial for an economic efficient plant operation. This is different for biodiesel plants.

Related to the impact of capital investment, the financial parameters such as calculation period, leverage and bank interest for leverage are only of a very marginal influence. As follows examples are given for annex plants:

- A variation of the calculation period from 10 years in base case to 20 years results in a decrease in biodiesel costs of about 7 to 12 %. For 5 years this is about 4 to 6 %.
- A variation of bank interest from 15 % in base case to 7.5 % results in a decrease in biodiesel costs of approx. 0.5 % and can thus be neglected.

Hence, favourable capital conditions can be used as financial incentive for the implementation of biodiesel plants in Mexico. However, for the economic plant operation this is only marginally relevant; here aspects of cost favourable feedstock as well as appropriate markets for press cake are of crucial importance.

Economic efficiency

The results of the economic efficiency consideration are shown in Fig. 4-7. Here the approach is applied to identify the required sales price for biodiesel (excluding possible taxes and duties) at a target IRR of 20 %. The results are compared to the price of PEMEX diesel (i.e. including taxes and duties). Thus it can be revealed, that biodiesel industrial produced from palm, soy beans and sunflower can be competitive with PEMEX diesel if taxes and duties are neglected for biofuels. This is also true for palm and sunflower diesel produced in agricultural plants as well as for the use of rape seed and jatropha oil in industrial biodiesel plant under the assumed frame conditions. However, it is again noted that there is a high uncertainty for jatropha assumptions.

Moreover, the plant specific annuity is indicated. The annuity correlates to the IRR and is according to production plant type and capacity in a range of 1.2 million MX$/a for agricultural plants to about 21 million MX$/a for industrial annex plants.

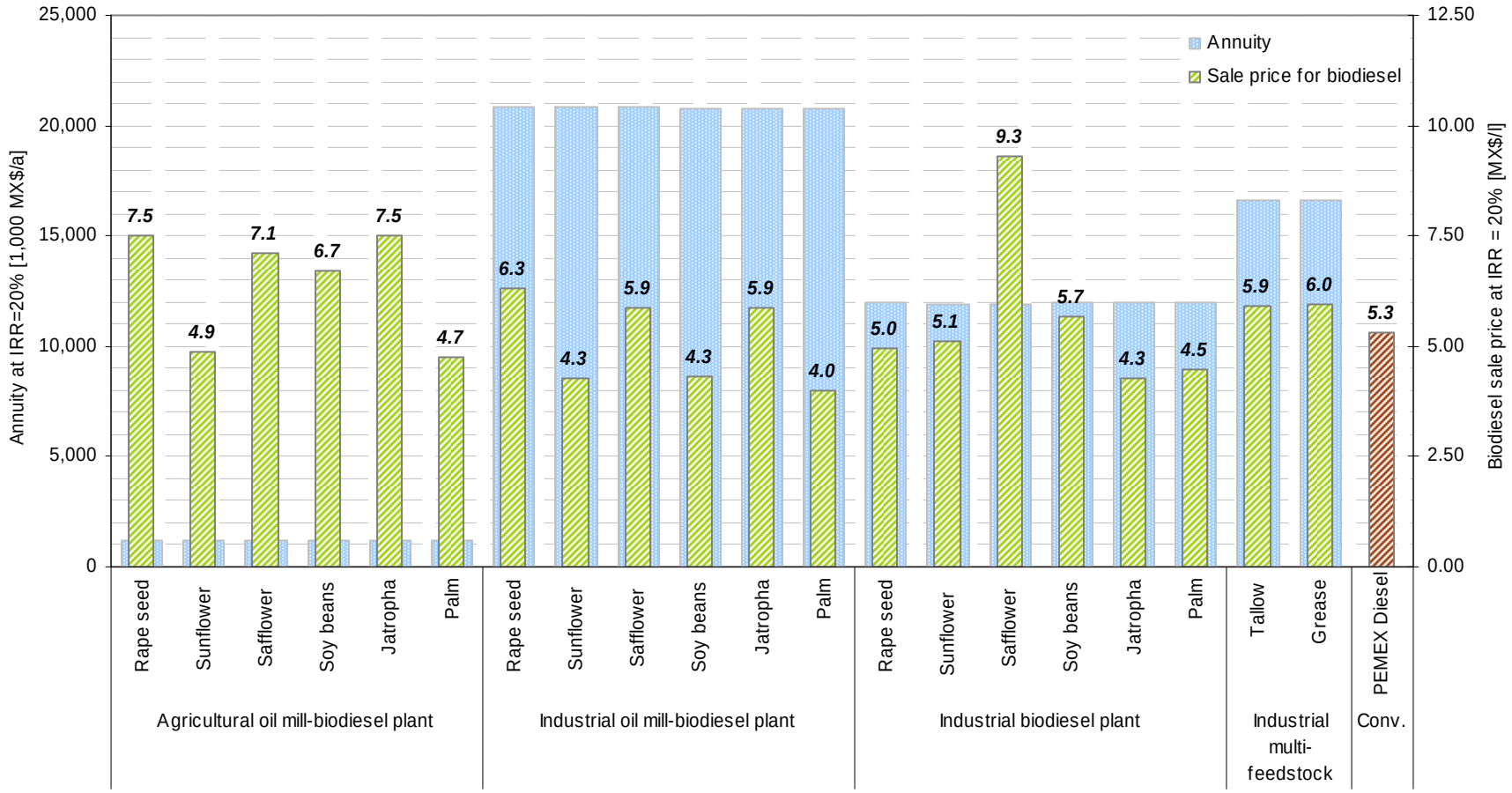


Fig. 4-7 Required biodiesel sales prices for economic efficient biodiesel production plants (IRR of 20%; PEMEX diesel including tax and duties)

5 POTENTIALS IN RELATION TO SUSTAINIBILITY CRITERIA

Even if the expectations with regard to biodiesel as source of sustainable energy are high, there are also certain risks that may lead to damage to nature and the environment and to adversely social and economic effects. In the following chapter relevant economic, environmental and social problems of biodiesel production in Mexico are identified.

5.1 Economic aspects of biodiesel production

The worldwide concerns about energy cost, especially those of mineral oil, have led to a continuous search for alternative fuels. Therefore, one benchmark for the macro-economic analysis of biodiesel implementation in Mexico is the global mineral oil market. Furthermore, there is a conflict in the use of vegetable oils for the biofuel production, the use in food industry as well as in the industrial use. Those interactions among the markets are very complex; for a first estimation the different markets can be briefly described as follows.

5.1.1 Global and national mineral oil market

Biodiesel has to compete with fossil fuels, which are still dominant in the world wide energy demand in transport sector today – and are likely to remain so in the coming years. Whether or not biodiesel can develop in Mexico and in what pace depends largely on the development of the global mineral oil market. The period during the study was conducted this study is embossed by relatively high mineral oil prices. This is on the one hand side based of the rapid growth on the demand side, especially the new emerging countries like India and China and on the other side there is the not solved conflict in the Middle East where nearly 70 % of the worldwide mineral oil resources are located.

Mexico is the 4th biggest crude oil producer in the world, which is one strength of the Mexican political economy. About 187 million t crude oil were produced, about 87 million t were used in Mexico whereas the rest is exported (primarily into the U.S.). In 2004 diesel represented approx. 15 % (62,500 PJ) of the final energy consumption of the country. The demand of petroleum diesel, like described in Task A (IMP, 2006), is going to increase from 16.28 Mio t./a in 2005 up to 20.66 Mio t./a in 2014 (Figure 5-1).

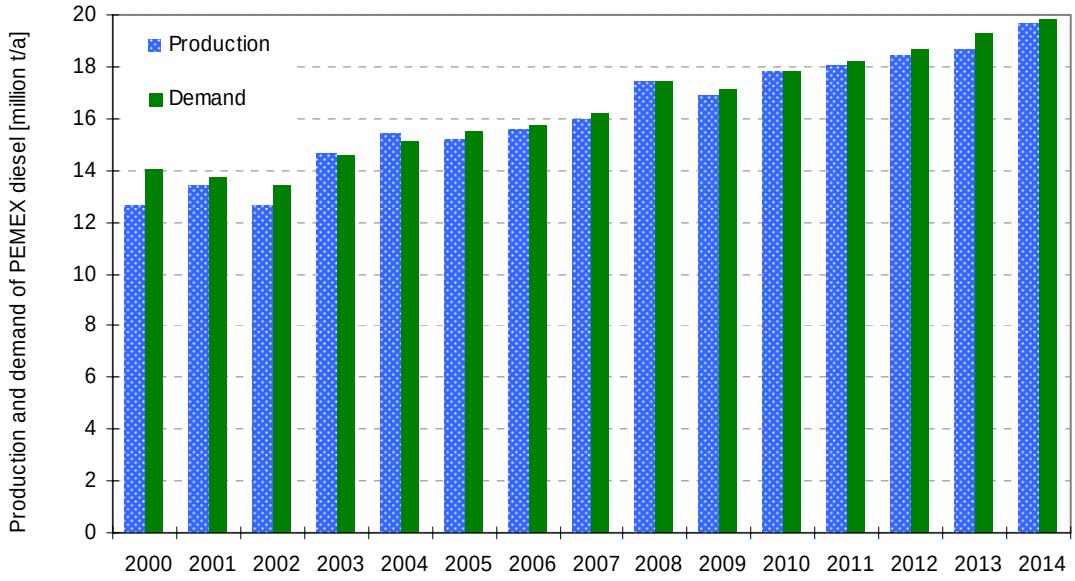


Fig. 5-1 Development of the diesel production and demand for the years 1994 to 2014 in Mexico (SENER, 2006)

5.1.2 Global and national vegetable oil market

In the area of agriculture, the oil and fat industries are among the fastest growing global growth sectors. In the last 20 years the worldwide consumption of oils and fats has risen by an average of 4% per year. The increased demand in oils and fats is largely due to consumer growth in the food sector in newly industrialised countries such as China and India[8]. In contrast, there is a rising demand to use plant oils as raw materials for producing biodiesel in the industrialised countries.

5.1.2.1 Supply and demand

In the economic year 2004/05 approx. 379 million t of oilseeds were produced. Roughly 57 % of these oilseeds were covered by the production of soy beans, which are mainly cultivated in North and South America. Some distance behind this is followed by rape seeds production with 12 % of the global production volume. Peanuts supply 9 % (35 million t) and sunflower seeds 6 % (25 million t) of worldwide oilseed demand (Fig. 5-2).

[8] Globally speaking approx. 80 % of oils and fats are used in the food sector.

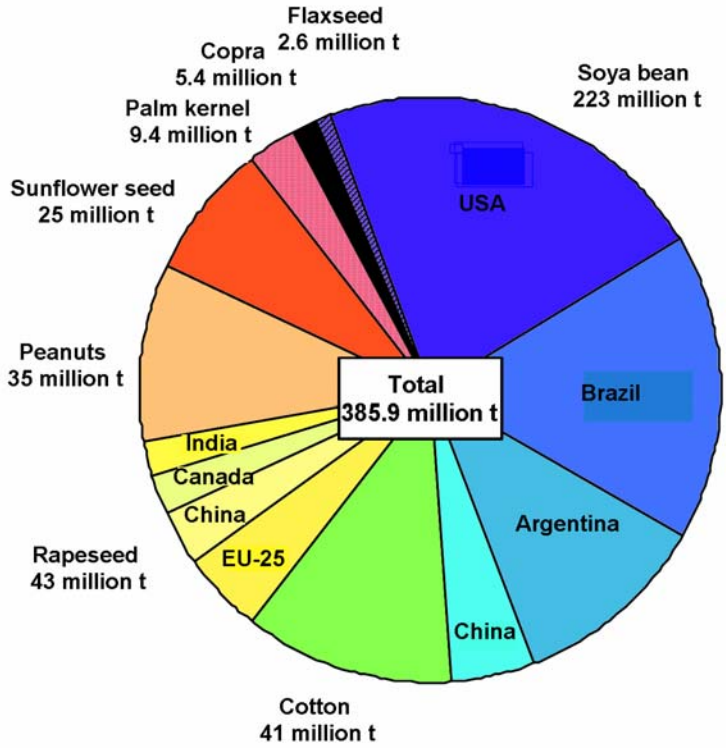


Fig. 5-2 Global market for oilseeds in 2005

Almost all of the oilseed harvest is used to produce oils and fats. According to estimation of the USDA the world-wide production of the nine most important vegetable oils and fats reached 111.2 million t in 2005. The overall consumption of plant oils and fats over the last five years has risen by approx. 26 %, whereby China has experienced the largest growth in consumption of more than 40 % what is mainly based on demand growth in the food sector. In the financial year 2005 again the palm oil production with 34.6 million t (plus 4.2 % in relation to previous year) exceeds the production of soy bean oil with 33.8 million t (plus 5.6 %). For the future it is expected that due to the global aggressive renewable fuels policy, the level of worlds vegetable oil demand will increase faster even then in the past. There are certain effects combined with this so called biodiesel effect (Fig. 5-3). The higher oilseed production will furthermore increase the availability of protein meals from oilseed crush. Moreover, the growing global bioethanol industry is also producing protein fodder as by-product. As far as the vegetable oil demand will increase faster than protein meal demand the prices for vegetable oil will increase, encouraged by stronger demand and will lower protein meal price. Therefore, production of palm oil and high oil content seeds like rape seeds will grow faster than soy bean production.

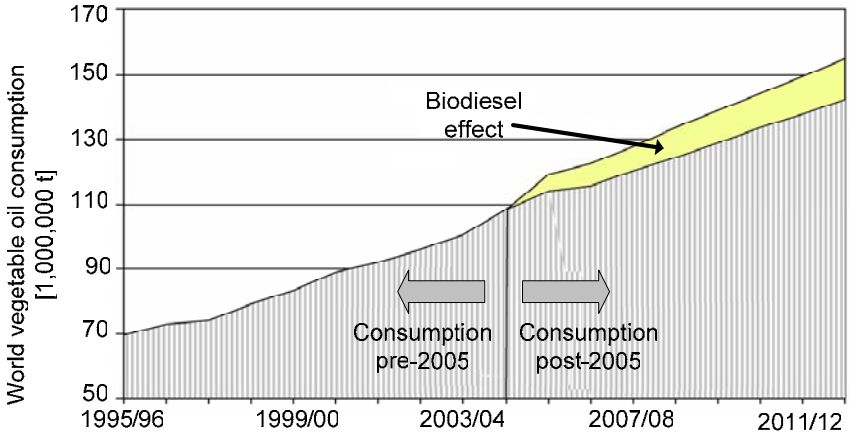


Fig. 5-3 Worlds projected consumption on vegetable oils

5.1.2.2 Trade for oilseeds and products

The worldwide trade of oilseeds and its processed products is restricted to a few export/import countries and products. As with most agricultural products, the global trade flows of oilseeds and its by-products are largely determined by domestic foreign trade policy (customs duties) and the market mechanism for supply and demand.

About 79 million t of oilseed and 42.2 million t of vegetable oils were traded in the economic year 2004/05. Soy bean is the most important traded product and constitutes 85 % of all traded oilseeds. The main export countries are the U.S., Brazil and Argentina, which sell a major part of their produced seeds in China (27 million t) and the EU-25 (15.2 million t). On the one hand, the China has a large processing capacity; however, the available land for the further expansion of cultivation areas is limited. In particular, the continued increase in livestock numbers results in a rising demand for soy meal; this inevitably creates a dependency on imports. Canada is the leading rape seeds (canola) exporter (3.5 million t), whereby Canadian rape seeds are mainly exported to Japan, Mexico as well as U.S.. The second largest global rape seeds exporter is Australia with 1.1 million t of rape seeds.

Palm oil accounts for roughly half the trade in plant oils (20 million t). This is followed by soy beans and sunflower oil with trading volumes of 10 million t and 2.6 million t respectively. The trading volume of rape seed oil is only 1.4 million t, of which roughly 70 % is exported from Canada to mainly the U.S. (70 %) and China.

As described in Task B Mexico is currently up to 95 % depended imports of vegetable oilseeds and products and it is forecasted that the demand for oilseed products is going to increase in the coming years (Lazcano, 2006). Also the oil and meal imports are expected to increase in the near and middle term, as domestic demand to outstrip increases in domestic production. Currently, soy beans are the main imported oilseed, representing 70 % of Mexico's total oilseed imports. Nearly 50 % of the oil imports are palm oil followed by 23 %

of soy bean oil. The U.S. market is and will continue to be the major oilseed supplier to Mexico. Although the government of Mexico would like to achieve greater self-sufficiency in oilseed production, this may be difficult as the vast majority of Mexico production takes place on non-irrigated land. Thus, considerable investments in irrigation systems would be necessary to make any significant change in Mexico's production to use ratio of oilseeds (USDA, 2006).

To meet the demand on B-5 approx. 4,000 kt of oil seeds (e.g. soy beans and rape seeds) are required (cf. Fig. 5-4). Under the present circumstances (i.e. non self sufficient supply) additionally 75 % of the current oilseed imports would be required (see chapter 0).

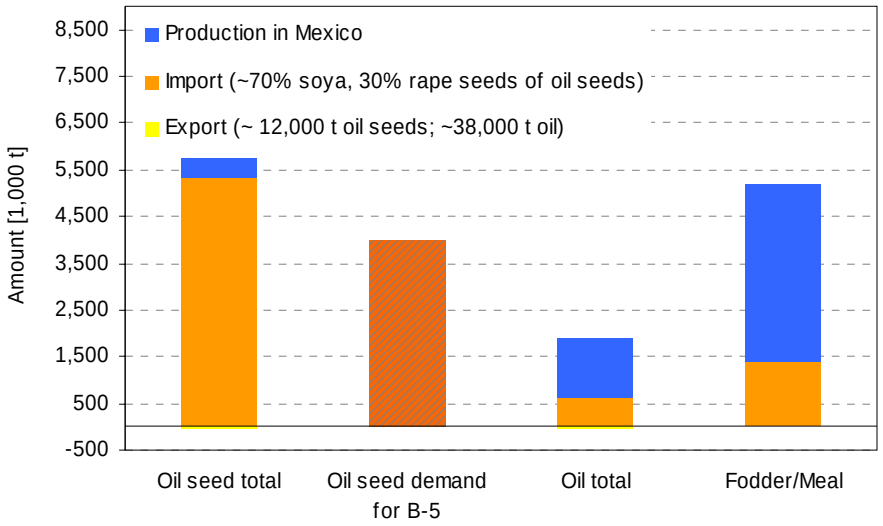


Fig. 5-4 Mexican market for oilseeds and products - import and exports (USDA, 2006; IE, 2006)

5.1.3 Institutional and Legal

Currently, there is a de facto tax exemption for biofuels since taxing applies to hydrocarbons only, not to fuels in general. However, the lack of explicit regulations for this point may negatively impact on investor confidence.

No national standard exists for biodiesel today. However, the national automotive industry (due to its strong export orientation) is quite familiar with biodiesel and its combustion properties. The development of a national standard therefore should not pose a major problem.

The development of a national legal framework is in its early stage, but has shown significant progress recently. Principle of sustainability development defined in national development plan 2001 to 2006 (so called PND).

- The law for the promotion and development of bioenergy (Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, LPBD) which has been approved by the Senate (Cámara de Senadores).
- Regarding biodiesel feedstocks, different to vegetable oil crops, the use of animal fats (i.e. tallow) and waste vegetable oils (i.e. grease) is currently not foreseen within the LPBD and probably need to be addressed with regard to the existing biodiesel capacities (cf. section 2.2).
- The law for the utilization of renewable energy sources (Ley Para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía). This law initiative is considerable broader and more ambitious and goes well beyond the LPBD. Particularly, it establishes specific terms for the funding of renewable technologies, the deployment and research. Currently, this initiative is being debated in the Lowe Chamber of the Mexican Parliament (Cámara de Diputados).
- There are fonds of about 55 million US$ whereas e.g. about 7 % are foreseen for biocombustibles, 15 % for R&D of renewable energies and 20 % for the evaluation of potentials for renewable energy sources in Mexico.

5.2 Environmental aspects of biodiesel production

An expanding biomass usage should also always follow environmental criteria. Next to the impacts related to environment through the biodiesel usage itself preserving diversity, conservation of ecosystems, avoiding negative impacts of fertilizer, avoiding water pollution and avoiding soil erosion are basic sustainability criteria. Environmental impacts of any product or system are analyzed by life cycle assessments (LCA´s).

5.2.1 Life cycle assessment

5.2.1.1 Basics of life cycle assessment

As the expression implicates does a life cycle assessment consider the full life cycle of a product from resource extraction to waste disposal. Its goal is to give an all inclusive picture of the environmental impacts of products or systems, by taking into account all significant ‘‘upstream’’ and ‘‘downstream’’ impacts. The assessment should include the production or extraction of primary sources (energy crops or residues), the processing, transportation and distribution of the fuels, building of conversion plants and other, the usage of the fuel in motor engines and waste disposal. Furthermore by-products should appropriately be considered along the life cycle of the production of the fuel. All impacts are dependent on the global or regional system, where the production takes place or whose resources are used. Therefore a detailed knowledge of the “surrounding” system is necessary to evaluate the environmental impacts of a product or system accordingly.

5.2.1.2 Methodology of life cycle assessment

The method of how to undertake a LCA is laid out in two international norms, the DIN EN ISO 14040 and DIN EN ISO 14044. According to these norms a LCA is generally divided into four phases: goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation. Following figure (Fig. 5-5) gives an impression of the structure.

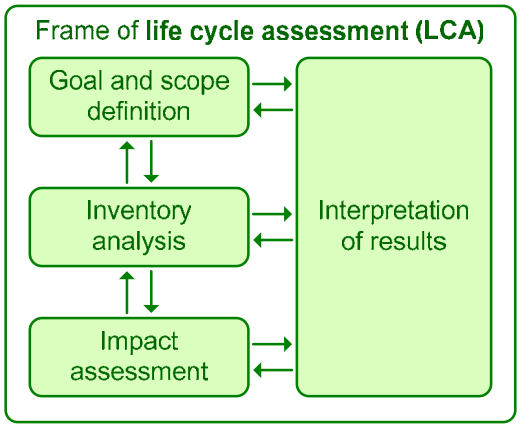


Fig. 5-5 Structure of LCA (DIN EN ISO 14044)

In the **goal and scope definition**, the aim and the subject of an LCA study are determined and a "functional unit" is defined. An example of a functional unit is "the driven distance of 1 km of a passenger car" with, for instance, the aim to compare the environmental impacts of different sorts of automotive fuels.

In the **inventory analysis**, for each of the product systems considered data are gathered for all the relevant processes involved in the life cycle. A product system can be considered as a combination of processes needed for the functioning of a product or service. The outcome of the inventory analysis is a list of all extractions of resources and emissions of substances caused by the functional unit for every product system considered, generally disregarding place and time of the extractions and releases. The complexity of the process for the provision of biodiesel may be regarded in Fig. 5-6. Different pre-chains, by-products auxiliary energy sources and other utilities have to be taken into account.

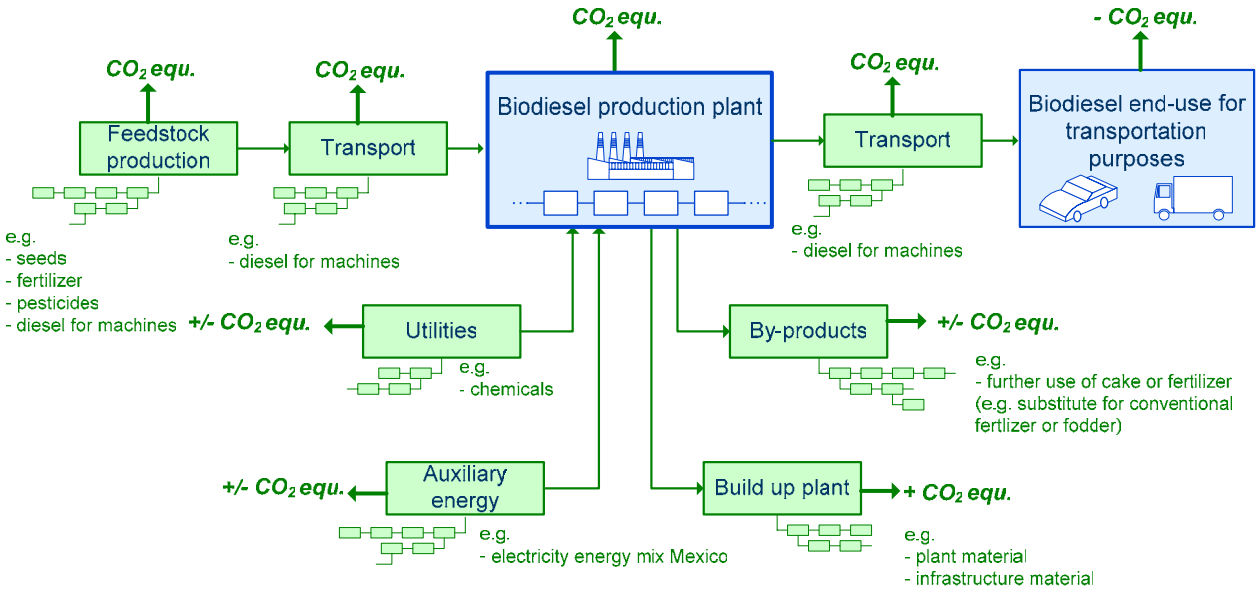


Fig. 5-6 Process chain of biodiesel provision

The **impact assessment** aims to improve the understanding of the inventory results. Firstly, it is determined which extractions and emissions contribute to which impact categories. An impact category can be defined as "a class representing environmental issues of concern into which results from the inventory analysis may be assigned". The next step in the impact assessment is the characterization. The aim of the characterization is to aggregate the releases of pollutants and the extractions of resources of a product system for a number of predefined environmental impact categories. Categories can be global warming, depletion of stratospheric ozone, human toxicological impacts, ecotoxicological impacts, photo-oxidant formation, acidification, eutrophication or others.

The final phase in an LCA study is the **interpretation** of the results from the previous three steps, to draw conclusions and to formulate recommendations for decision makers.

5.2.1.3 Estimation of primary energy demand and GHG emissions

In order to realize a LCA for the provision of biodiesel in Mexico a detailed data base of Mexican conditions for the analysis of pre-/main chain for biodiesel production and use is required. Since this data base could not be provided sufficiently under existing conditions an alternative approach has been followed. An assessment based on existing LCA studies in comparable countries with comparable products has been established. It includes interim estimations of LCA results on biodiesel provision for fossil primary energy demand and GHG emissions for selected feedstock. The results, based on these estimations, are presented in the following figures. Basic assumptions of the LCA are that agricultural areas have not been gained by deforestation of rainforest areas. The results are presented related to two functional unit. Firstly, the primary energy demand (Fig. 5-7) and GHG emissions (Fig. 5-8) of different feedstocks and conversion processes for the production of biodiesel are related to one liter of

diesel equivalent (Well-to-tank). In the second step the GHG emissions of different biodiesel provisions chains and use are related to one kilometer of transporting distance of a passenger car (Well to wheel).

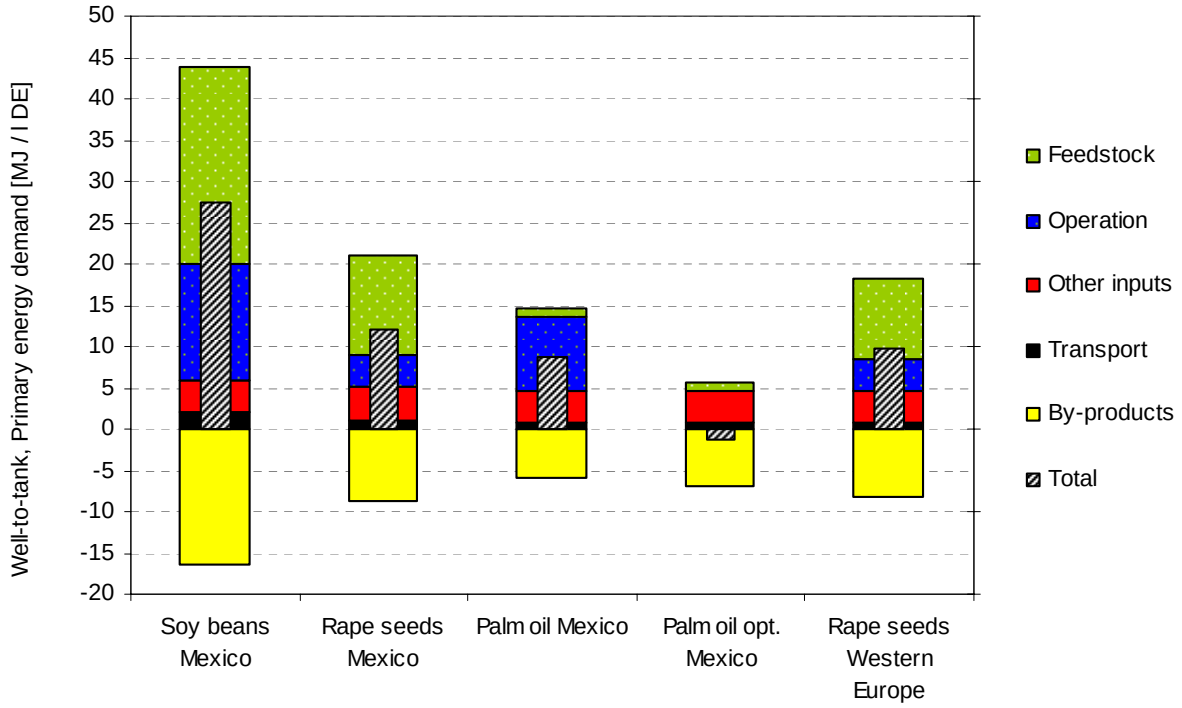


Fig. 5-7 Primary energy demand of biodiesel production an arable land – Well to tank (estimated figures)

Well-to-tank analyses (see Fig. 5-7) shows that feedstock, operation and by-products have great influence on the energy balance of rape seeds and soy beans. The balance of palm oil is almost independent on feedstock but more dependent on operation efforts. Other inputs (e.g. methanol, chemicals) have more influence on the primary energy demand compared to transportation efforts.

An optimization of the palm oil process (using shell and fibers to provide operation efforts) has great positive influence on the primary energy demand.

Surplus energy forwarded to the grid results in credits as by-products, feed or fertilizer do.

The result of well-to-tank analyses concerning GHG emissions are similar (see Fig. 5-8). The influence of feedstock, operation effort and by-products increase. Other inputs (e.g. methanol, chemicals) have only marginal effects as transportation efforts do.

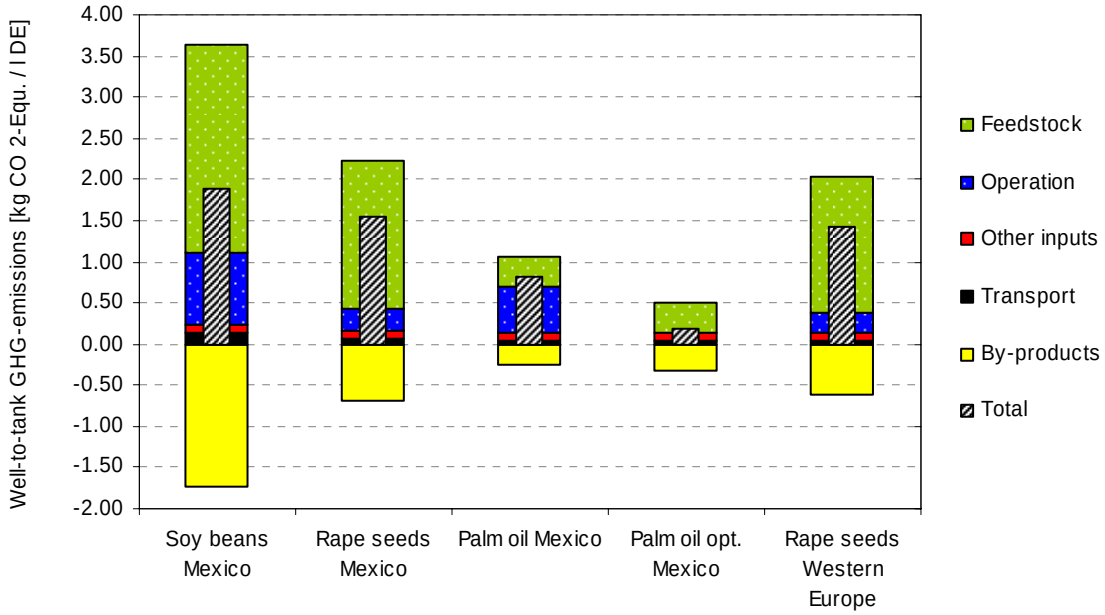


Fig. 5-8 Greenhouse gas emissions of biodiesel production an arable land – Well to tank (estimated figures)

Efforts of operating the plant have a reasonable share, but are main source, when producing biodiesel from palm oil.

The process using palm oil can be optimized by supplying the energy demand of the plant from nut-shells and fibers. Surplus energy may be forwarded to the grid.

For palm oil production local specific soil effects (e.g. deforestation) are most relevant (carbon storage). Therefore the actual GHG-emissions can be significant higher than in the given example.

In Fig. 5-9 GHG emissions of the provision and use of biodiesel are presented. The emissions are related to the transport distance of one kilometer transport distance of a passenger car. The use of biodiesel in the transport sector may reduce GHG emission by about 100 g CO2-equ. per km or even more. The GHG emissions of fossil petrol and diesel are presented in this figure for comparison.

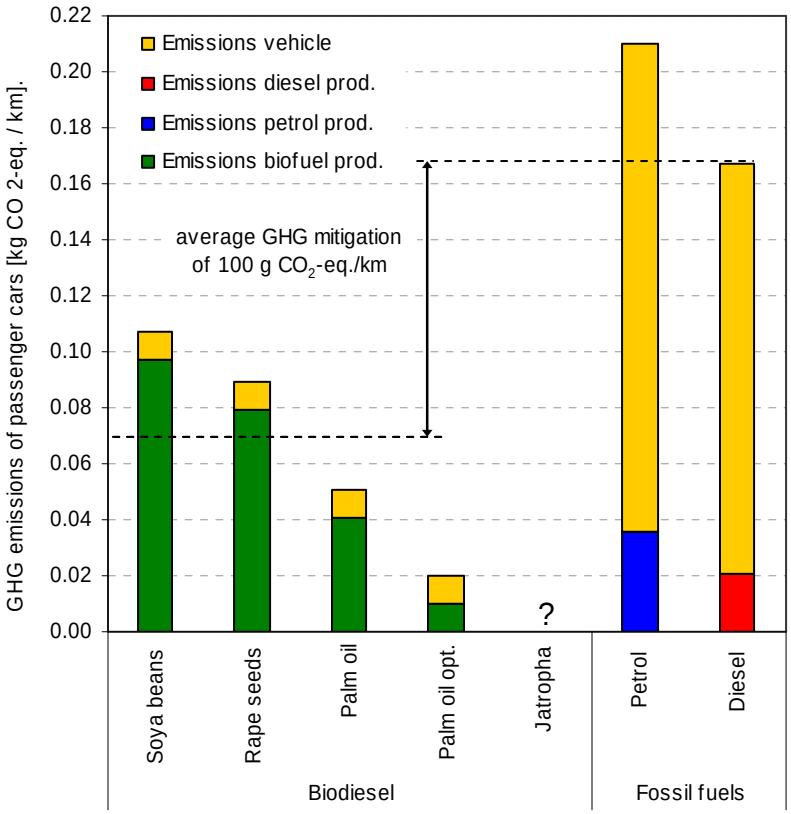


Fig. 5-9 Greenhouse gas emissions of biodiesel production an arable land – Well to wheel (estimated figures)

Those reduction show their main effects at the place of use, here private cars, but similar effects are estimated for heavy duty transportation.

5.2.2 Biodiesel emission

The mayor part of combustion engine exhaust streams consists of the components nitrogen, carbon dioxide and water. The maximum amounts of certain pollutants in exhaust gases in Mexico are regulated in the “Normatividad Mexicana de Calidad del Aire” (Mexican regulation for air quality). Currently there is no regulation for automotive engines that use biodiesel pure or as blends.

In the past an enormous amount of data on biodiesel exhaust components has been measured. But the results differ widely. Exhaust gas emissions are strongly depended on the used engine type, test cycle and fuel grade. Furthermore emission values are greatly influenced by the application of an exhaust gas after treatment system. In general it can be attest that the relative carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) emissions for biodiesel fuels are reduced in comparison the fossil diesel usage. These can mainly be attributed to the oxygen content of the fatty acid ethyl ester, which leads to more complete combustion. In case of unburnt or partially oxidized hydrocarbons, also cetane number is considered to low emissions. For biodiesel fuelled engines nitrogen oxides tend to slightly increase, while the reason for higher emissions

are not fully understood yet. Oxidation catalytic converters can diminish emissions form 60 % up to 100 % (Mittelbach 2004).

In the following figure an overview of the emissions limits which are currently in force for European diesel-powered passenger cars and heavy duty vehicles, as well as the changes to these limits due to be enacted in the course of the EURO IV an V standards.

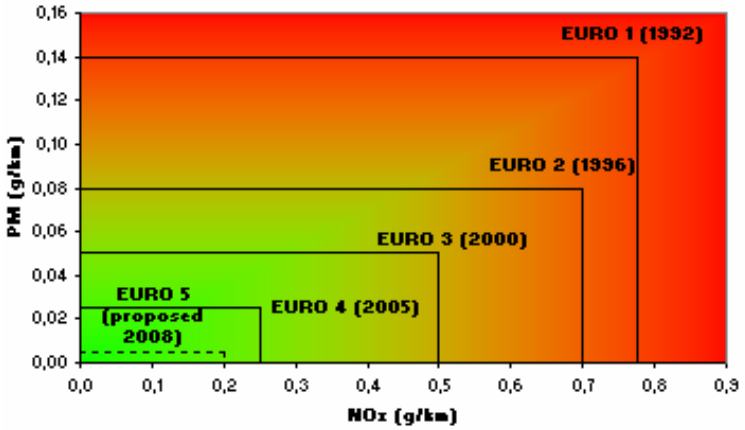


Fig. 5-10 European emissions limits for regulated exhaust components of diesel powered passenger cars (Dieselnet, 2006)

To analyze the exhaust gas emission of biodiesel measurements from an internal combustion engine have been conducted at Tecnológico de Monterrey (ITESM). For the test of B100 and B20 formulations virgin soy bean oil and waste vegetable oil (WVO) were used as feedstock. The measurements were performed according to Mexican norm NOM-047-ECOL-1999 with two alternative measurement protocols (i.e. based on no-load and on dynamic). Considering only “pure” feedstocks (soy bean oil or waste vegetable oil with no coconut admixture) all formulation show also a very similar picture with reduction in CO emissions of 70 to 90% reductions in total hydrocarbons of 20% slight decrease in NO_x emissions. Therefore the results according NO_x display contrary to measurements reported in literature.

5.2.3 Loss of biodiversity

A market introduction of biodiesel in Mexico based on national feedstock will result in expanding agricultural area for energy crop production whereby loss of biodiversity due to land use changes can result. This mainly affected by loss of migration corridors, habitats and buffer zones depending on crop varieties, rotation schemes, pest management, fertilizer use, irrigation, field size and harvest procedure. Mainly the transformation of extensive used areas to intensive mono-cropping is characterized by loss of biodiversity. Conversion of primary forest by means a forest that has never been logged, for example into palm oil plantations will lead to similar effects (Öko, 2006).

To minimize the loss of biodiversity a more extensive forms of cultivation, even if this result in an increased land requirement should be established. The mixing of the crop varieties and rotation schemes, and small-scale structuring of the cultivation cold further avoid a loss of biodiversity.

5.2.4 Soil erosion and other soil degradation

Soil erosion is a natural process but in many places it is increased by human land use. Changes in the kind of vegetation are one of the main causes for soil erosion. That can be shifting cultivation for agricultural purposes which sometimes can incorporate with clearing of forest. Furthermore is soil erosion a huge problem in dry regions with limited and unstable soil cover that erode due to heavy rains (EEA, 2006).

To reduce the effects of soil erosion in connection with energy crop cultivation standards should be addressed to e.g. exclusion or restriction of intensive vegetable oil production, application of farming and harvesting practice which reduced erosion risks and maximum slope limits.

5.2.5 Water use and water contamination

In arid and semi-arid regions in Mexico an increase in irrigated land could lead to water scarcity and furthermore could cause to lowering of water tables as well as reduced water levels in rivers and lakes. Irrigation competes with all other water uses. Several studies (Lazcano, 2006; USDA, 2006) indicate that there is need for important inversions in Mexican irrigation systems. Irrigation corresponds to 84% of the total water consumption (agriculture, domestic and industrial sectors). To due water availability problems regulations for the controlled use of water are expected, therefore irrigated areas should be primarily destined for food production (section 5.3.2). Therefore water scarcity in several regions in Mexico will lead to limitations in the potential area for energy crop cultivation. Among the selected oil crops especially sunflower, soy bean and rape seed have relatively high water needs. In this context Jatropha with comparatively high oil yields, may be grown successfully without irrigation in many semi-arid humid regions (300 to 700 mm/a). Palm oil as another high yielding crop, can only be cultivated in southern humid regions of Mexico, there should be no conflict concerning water us conflict.

Next to water scarcity the use of agrochemicals (i.e. fertilizers, pesticides) can result in water contamination. Moreover biomass processing facilities e.g. palm oil mills could cause significant discharges of organically contaminated waste water.

Therefore, energy crop cultivation should always be combined with methods that avoid critical irrigation needs in semi-dry and dry regions and minimize the impacts of agrochemicals by timing and quantity of application. In addition the biomass processing units should be engaged by a strict corpus of legislation to dispose their waste water stream in an environmentally acceptable way (e.g. by further conversion in biogas plants).

5.3 Social aspects of biodiesel production

5.3.1 Employment aspects

The estimated employment generation effect through biodiesel is variable according to the agriculture business studied and technology selected. Consequently the following description of employment effects can be seen as a rough estimation. Soy cultivation is highly mechanized and need big areas what is resulting in low job generation (0.07 jobs per hectare). It favors the land concentration, but does not present any advantage for socialization of its use (FBDS, 2005). The cultivation of palma africana in the small-scale production is more labor intensively than production in plantations, between 3,000 to 5,000 hectares. Small rural systems a worker is needed for 0.4 hectare while one worker in plantations is responsible for 0.2 hectare (TAB, 2002). For employment effects of jatropha cultivation only rare experience could be gained in the past. It is estimated that, jatropha cultivation will generate 0.8 jobs per hectare during the first year and about 0.20 jobs per hectare in the subsequent years (Becker, 2005). If employment generation should be one main goal for biodiesel market introduction certain mechanism supporting extensive forms of oil crop cultivation should be implemented. In this context the Brazilian biodiesel supporting scheme, where family agricultural farms enjoy special tax incentives with up to 100 % mineral tax reduction.

But just the evaluation of the employment effects does not reflect the quality of jobs. Therefore it is necessary that production efforts in small properties are accompanied by programs for workers qualification. Moreover it is necessary to introduce modern techniques of handling and mechanization what indeed is linked with reduction of the number of jobs created but with quality earnings for the remaining. Furthermore it should be aspired to completely include the local people in the distribution of economic revenues from biodiesel production.

5.3.2 Food security

One main area of conflicts according biofuel production is the competition between land use for food, and for energy purposes. The use of vegetable oil in the food industry in Mexico as well as worldwide has increased constantly over a long period of time mainly driven by demographic and income growth. As incomes have grown the demand for livestock products and vegetable oil has outstripped basic food grains. Next to the rapid growth in world vegetable oil consumption in the food sector the demand of oils/fats for fuel use will sizeable growth as well (section 5.1.2). Some growth in annual oilseed production will come from the upward trend in yields, but to supply the rapid growth the planted area had to go up. This will result in partly due to shifts other crops and partly by bringing new land in production.

Institutional agricultural support in Mexico was greatly reduced, together with land ownership structure. In the last 10 years the imports of main basic grain and oil seeds have doubled. The food products export/import balance shows a deficit of 2,440 million US$ (Macedo, 2006). For self-sufficient in food production more than 5 million hectares have to be brought into cultivation. In this respect huge institutional changes have to attempt to achieve structural shift in the Mexican agricultural structure towards oil crop extension. To minimize the direct

competition of energy crop and food production Jatropha seems be promising, at least if the non-edible form is cultivated, which is furthermore adaptable to a large variety of soils, altitude and climates (even semi-arid areas). But it has to be in mind that because of relatively limited experiences on Jatropha cultivation in Mexico presentable cultivation achievements will take at least 5 years. And although jatropha has comparatively low water demand a sophisticated water management systems has to be provided in some regions.

5.3.3 Land ownership

Next to the questions of land use, the issue of land ownership structures has to be considered when launching a national biodiesel program. The industrialized form of vegetable oil production like soy bean cultivation is often under control by large land owners, or (trans)national companies. In this respect this might conflict with the right to democratically regulate land access, what in turn can result in loss of food basis for the for rural population. Also loss of diversity is connected to land expropriation processes thru industrial-style cultivation. Rural communities and family businesses aiming a self sufficient supply of food and gaining income for local population is also connected to a manifold agriculture system, what lead to an increase concerning biodiversity.

To avoid land ownership conflicts clearly defined, and legally established tenure use rights should be documented. For avoidance of these conflicts again the Brazilian biodiesel program should be mentioned, with a strong focus on small farmers' oil crop production. If necessary a biodiesel promotion scheme should be complementary to the national land use reform program, so that the lands destined to this program have a rational use.

5.3.4 Labor conditions and rights of children

Labor conditions comprise aspects like wages, illegal overtime, children work or slavery. In the following, some problematic aspects of biomass farming are described. Workers on plantations have increased in relation to the number of permanent workers, who are exposed to greater risks. Women often help their husbands: Neither they do enter a contract with the company nor do they receive remuneration. Domestic estate companies do not provide working tools and safety equipment to the workers. Permanent workers in foreign estates working tools are supplied with working tools; there is no safety training for workers in foreign companies. Some migrant workers have to pay for recruiting agencies and to sign contracts which are often in a foreign language. In many cases migrants sign whatever they are offered from the companies.

As regards labor conditions it is important to protect workers against forced labor, unequal paying and illegal overtime. Minimum wages, rights of pregnant woman, elimination of child labor should include in a social view on biomass production. Often children and women work on the field. Especially for them it is necessary to reword standards for sustainable and also social biomass farming.

6 SCENARIO BUILDING AND ANALYSIS

In the following chapter the potential demand of biodiesel assuming several scenarios of small and large scale plants will be developed. The domestic biodiesel consumption will be estimated on the basis of projections till 2014 for a 5 %, a 10 % and a 20 % blending of biodiesel in petroleum diesel (B-5, B-10, B-20).

The future biodiesel demand is first of all depended on the development of the future petroleum diesel consumption. As described in section 5.1.1 the demand of petroleum diesel, is going to increase from 16.28 Mio t./a in 2005 up to 20.66 million t/a in 2014 (Fig. 5-1) (IMP, 2006). According to that prognosis, the increment of the balance offer-demand between 2004 and 2014 the demand will increase in 2.5 % and 2.7 % respectively. Based on the petroleum diesel demands in 2014 a B-5 scenario would result in approx. 1 million t/a; B-10 in 1.819 million t/a and for B-20 in 3.638 million t/a (Tab. 6-1).

Tab. 6-1 Scenarios on potential biodiesel demand

		Current state 2006	**Estimations for 2010**			**Estimations for 2014**		
PEMEX diesel consumption	[1,000 t/a]	14,604	16,274			18,189		
Blending scenario			B-5	B-10	B-20	B-5	B-10	B-20
Biodiesel demand	[1,000 t/a]		814	1,627	3,255	909	1,819	3,638

Next to the expected petroleum diesel consumption the future biodiesel production is also strongly depended on the availability of feedstock. The availability of feedstock is on the one hand side depended on the availability of cultivable land for oilseed production and as well as the amount of animal fats and recycled oils/fats available for biodiesel production. Currently Mexico is highly dependent on imports of oilseeds and products (approx. 90 % oilseeds and approx. 35 % fodder) (section 5.1.2.2). As it is described in section 2.2 there is a tendency of biodiesel production in Mexico based on animal and recycled oils/fats as feedstock. However it is difficult to make estimations about the available volumes for biodiesel production. Because of the existing import dependency for animal and recycled oils/fats it is assumed that they are going to play a minor role as feedstock for a national biodiesel implementation strategy in Mexico.

Assuming the specific biodiesel yields per hectare for the different oilseeds (Tab. 3-2) and self-sufficient biodiesel production based only on vegetable oil the following acreages are needed to achieve a the different blending assumed (Tab. 6-2). Under these circumstances it can be implicit that in the nearer future a self-sufficient supply of feedstock for biodiesel production in Mexico seems only be possible if intensive agricultural supporting schemes are going to be established. To estimate the required agricultural land that need take under cultivation three scenarios are going to be defined.

Tab. 6-2 Required, current and potential agricultural area for different oil crops

	B-5	B-10	B-20	Current growing area	Potenzial area
Palm oil	304,881	609,762	1,219,524	15,000	2,500,000
Jatropha	1,415,717	2,831,434	5,666,868	n.s.	1,000,000
Sunflower	1,554,095	3,108,190	6,216,381	900	n.s.
Rape seeds	1,669,585	3,339,171	6,678,341	10,050	n.s.
Safflower	2,526,830	5,053,659	10,107,319	224,000	n.s.
Soy beans	3,576,032	7,152,065	14,304,129	110,000	> 1,000,000

Consequently it can be state that even a market introduction of B-5 under the current situation seems to be rather difficult. Assuming a biodiesel production based on soy beans the current acreage has to increase by 30-times, what can be appraised critical as far as the maximum ever farmed area was 350.000 hectare. Looking at the potential area suitable for an increase cultivation of the considered energy crops only based on palm oil a expanded market introduction seems to be conceivable. This course has to include clear frame conditions to ensure oil palm cultivation on agricultural or degraded land and to avoid any effects the rain forest. Jatropha, with its relatively high yields, could also be considered as a potential energy crop, but the experiences for the cultivation of jatropha in Mexico are relatively small.

Looking at the several scenarios for small or large scale biodiesel production significant differences are obvious. Whereas for a B-5 blending up to 10 industrial plants with a capacity of 100.000 t/a have to installed, a scenario with small scale agricultural oil mill-biodiesel plant with a capacity of 5,000 t/a would result in more than 140 plants. To optimize the supply of feedstocks as well as the removal of the biodiesel and the by-products it's essential to locate the industrial plants close to the refineries or the oil mill industries and thus close to the main oil crops growing areas. From the logistic point of view agricultural oil mill-biodiesel plants are advantageous since the enables nearly ideal material flows.

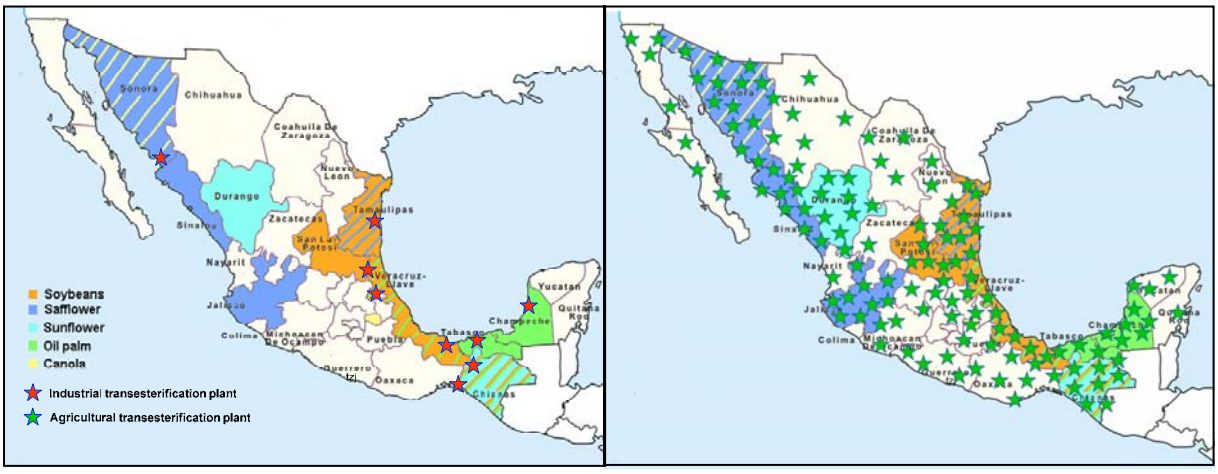


Fig. 6-1 Schematic illustration of the potential location for industrial and agricultural transesterfication plants

The specific economic and environmental effects coupled to the different scenarios are summarized for 2010 and 2014 in Tab. 6-3. A rapid expansion of energy plantations for biodiesel production requires an important volume of financing. Assuming average investment cost of 311 million MX$ per biodiesel (100.000 t/a), at least 2.5 billion MX$ have to be invested for a B-5 market introduction. In Mexico, the development bank with the largest impact on agricultural and rural projects is FIRA (*Fideicomisos Instituidos con la Agricultura*), a subsidiary of Mexico's National Bank. Clearly, a well-designed and operated special program at FIRA can have a significant impact on the development of biodiesel. Following finical schemes seems to be promising for the promotion of biodiesel in Mexico:

- **Preferential interest rates**. FIRA provides a 6% discount on the interest rate of its loans to the financial intermediaries (as referenced to the inter-bank equilibrium interest rate, TIE) for small producer projects. It can be recommended that this discount should be extended to specially tagged biodiesel projects which comply with sustainability criteria.
- **Direct marketing of credits and bundling**. The effectiveness of FIRA loans can be potentially increased significantly if the loans are marketed directly by FIRA, thereby avoiding costly overheads. Biodiesel projects may access FIRA's TIE−6% loans directly during a start-up phase of 5 to 10 years, without utilizing financial intermediaries. This incentive should be limited to smaller projects in order to stimulate development in rural areas. Direct marketing to smaller projects may require additional staff at FIRA (as a part of a national subsidy set), but should foremost concentrate on the bundling of loans, achievable, e.g. through lending to agricultural cooperatives.
- **Technical assistance.** FIRA already operates technology and training centers. Similar centers dedicated to the local promotion of biodiesel or enhancing existing centers in certain regions with new facilities and staff can be supportive for a biodiesel market implementation.

It is expected that the production of diesel till 2014 will not only cover the country demands but also will have surpluses for exportation (approx. 0.2 to 0.6 million t/a). Assuming an export price for diesel of 4.3 MX$ a B-5 blending could contribute positive to export revenues for PEMEX diesel (approx. 4 million MX$/a). Also the export of biodiesel to the growing markets in Europe and the U.S. America could be a possible scenario. Although this alternative is certainly desirable, the focus of the national biodiesel program in Mexico should be on the national utilization of the fuel.

Biodiesel implementation is potentially well suited to provide sinks for CO_2 if plantations replace idle or degraded lands. Based on the estimated LCA results of average GHG mitigation of 100 $g_{CO2\text{-}Eq.}$/km for biodiesel use (cf. section 5.2.1) a total mitigation potential of at least 1,680 $t_{CO2\text{-}Eq.}$/a in 2010 to about 7,500 $t_{CO2\text{-}Eq.}$/a in 2014 can be assumed. The therewith associated mitigation costs of approx. 2,000 MX$/ $t_{CO2\text{-}Eq}$ are calculated based on the average biodiesel production costs compared to the PEMEX diesel costs as well as the average mitigation potential. In total the annual costs for CO_2 mitigation are in the range of 3.3 million MX$ in 2010 to 15 million MX$ in 2014 theoretically. If the marketing of GHG certificates is to be part of the national biodiesel promotion campaign, it is important to streamline the accreditation process for biodiesel projects and keep the transaction costs low.

Tab. 6-3 Economic and ecological effects

		Estimations for 2010			**Estimations for 2014**		
Blending scenario		B-5	B-10	B-20	B-5	B-10	B-20
Biodiesel demand	[1,000 t/a]	814	1,627	3,255	909	1,819	3,638
Required capital investment	[million MX$]						
Type agricultural (á 16 million MX$)		2,604	5,208	10,415	2,910	5,821	11,641
Type industrial annex (á 311 million MX$)		2,531	5,061	10,123	2,828	5,657	11,314
Add. revenues for PEMEX diesel export	[billion X$]	4.0	8.0	15.9	4.4	8.9	17.8
CO_2 mitigation potential (á 100 $g_{CO2\text{-}Eq.}$/km)	[t_{CO2}-Eq./a]	1,677	3,354	6,709	1,874	3,749	7,498
CO_2 mitigation costs (á 2,000 MX$/$t_{CO2\text{-}Eq}$)	[million MX$/a]	3.3	6.7	13.4	3.7	7.5	15

Near term a regional market implementation of biodiesel based on domestic feedstock - vegetable oils as well as for animal and recycled oils/fats - is conceivably. Mid term a market introduction of B-5 in Mexico seems to be feasibility in particular if an extensive agricultural supporting scheme is going to be established. This situation is not substantially different from that in other countries, but is aggravated by the fact that fossil derived diesel fuel is still fairly inexpensive in Mexico. Moreover, diesel fuel is subsidized in special sectors, such as the agriculture and fishing sectors where the fuel tax (IEPS) is being reimbursed to the final user.

Two general premises are considered indispensable for a successful national biodiesel program: (a) A positive ecological balance and (b) a stimulus for the national economy. As to the first point, the net effect of a biodiesel program will depend to a great extent on the way the required massive plantations for vegetable oil production are established and maintained. Specifically, it has to be avoided categorically that native forests be clear cut to make room for energy plantations, particularly oil palm plantations. Even though it may not be possible to completely avoid clear cutting for energy plantations (due to administrative inefficiencies and law enforcement problems), it least it should be difficult for such plantations to access subsidies and other national financial incentives. As to the stimulation of the national economy, it should be clear that a stronger development of agriculture and rural areas is essential due to a host of issues of national security. A well-designed and conducted biodiesel program may contribute to the solutions of these problems.

For a further broad biodiesel development an expansion of energy crop production in the various edapha-climatic regions has to be initiated. Energy crop production, oriented towards diversity, should be supported by broad spectrum of demand on the one hand side, and on the other hand by establishment of various cultivation systems. To improve the energy crop productivity agricultural research innovations should be emerged as well – especially towards broad variety of the different species. The emphasis of a national biodiesel program should be on the creation of value in Mexico and particularly in its agricultural regions. Therefore, it is

recommended that biodiesel from Mexican oil crop cultivation be produced with locally designed and built technology. Technology transfer from international partners should be encouraged, but direct import of producing facilities should be avoided.

The implementation of a biodiesel scenario demands the establishment of oil seed production capacities and biodiesel production plants as well:

- With regard to the oil seed production perennial crops (palm, jatropha) seems to be promising for Mexico, but those crops need more time for establishment
- For the different crops specific solution for specific regions need to be elaborated in detail. This is much more important than for the bioethanol resources (Best, 2006)
- The conversion of perennial crops to biodiesel is not mature yet; additional technical development is needed to
- Added value in rural regions can be gained by training the farmers and encourage them to build new co-operatives. Therefore additional information (and time) is necessary as well.

It can be estimated, that the establishment of a domestic biodiesel production in Mexico will need 5 years at least, even if all activities are developed in parallel. As strategic goal for a national biodiesel implementation a substitution of 2.00 % of the mineral diesel demand in 2014 seems to be realistic. Based on this, a possible time frame for a market development can be drawn as follows (Fig. 6-2). Starting from setting the legal framework conditions in 2007 (e.g. realistic targets in form of a biofuel directive, quality standards and subsidies for the agricultural sector) over the development of a domestic biodiesel feedstock production industry on defined arable land (i.e. including R&D and training activities) and building of a basic biodiesel infrastructure in the time horizon of 2008 to 2010 to a biodiesel production to meet the demand of 2 % in 2014. In the meanwhile, biodiesel production based on imported oil crops products as well as on animal fats and recycled oils and fats will be carried out.

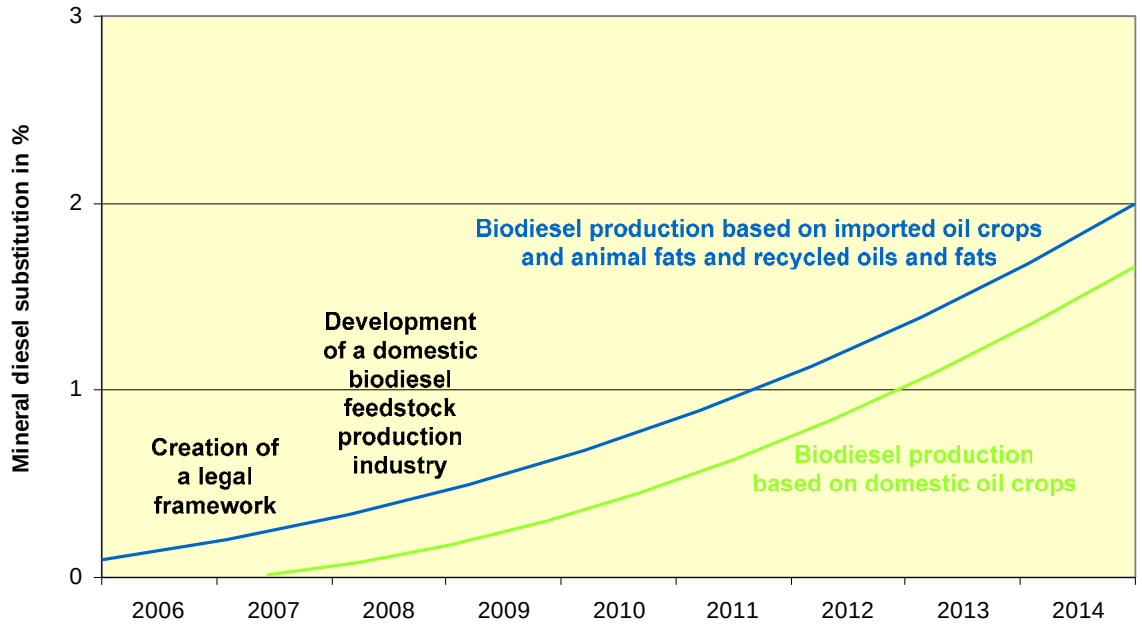


Fig. 6-2 Biodiesel implementation strategy for Mexico

7 RATIONALES, DRIVERS AND BARRIERS FOR BIODIESEL MARKET INDRODUCTION

With emphasis to, e. g, economic, energy, environmental, social, legal aspects and their interdependencies for the market implementation of biodiesel specific barriers (that have to be overcome) and drivers (that have to be further encouraged) will be identified and discussed. Furthermore, opportunities and threats will be analysed. These parts of a so called SWOT analysis (strength, weakness, opportunities and threats) will also be used to sharpen the view on required instruments for the successful implementation of biodiesel in the forthcoming years.

The results of this task can be summarised in form of a matrix for the biodiesel production and use for Mexico. To analyse the strength, weakness, opportunities and threats at different levels of production all aspects are group in **F**eedstock utilisation, **P**roduction and **E**nd-use.

Strenght	**F**	**P**	**E**
▪ Great variety of feedstocks for biodiesel production (i.e. vegetable oils, animal fats as well as recycled oils and fats)			
▪ Feedstock cultivation and processing facilities may represent a new significant source of jobs in rural environments, strengthening rural economies and mitigating migration			
▪ Comparatively low investment costs (e.g. when compared to bioethanol) and low personnel costs			
▪ Some feedstocks may be grown successfully without irrigation in many semi-arid regions (e.g. jatropha)			
▪ Large areas of currently or sub utilized land can be used for biodiesel feedstock production, thereby increasing vegetation cover and mitigating erosion			
▪ Residues from biodiesel processing can be used for energy production e.g. biogas or as organic fertilizer (i.e. agricultural cycle)			
▪ Conflicts with food production may be avoided or minimized if flexible production (refined edible vegetable oil vs. biodiesel) is implemented			

Weaknesses	**F**	**P**	**E**
▪ Early stage of framework development and specific regulations to promote renewables and biofuels.			
▪ High import dependency on oilseeds and products; future global vegetable oil prices will be higher driven by stronger demand; but protein prices lower.			
▪ Ecological and economic advantageousness depends on the usage of the by-product.			
▪ Comparatively high production cost in comparison to current PEMEX diesel prices when no specific incentives are taken into account.			
▪ For some oil crops (e.g. palma african, soy beans) intensive usage of agricultural land including irrigation and fertilization; aspects of sustainability.			
▪ Lower oil yields per hectare (lack of irrigation) in the global context; however, high yields generally require irrigation, which may limit the dissemination of energy plantations and/or create new water utilization conflicts.			
▪ For certain feedstocks (i.e. jatropha) the agricultural demands and technical conversion effort is not very well known yet.			
▪ Currently Mexico does not have a national standard for biodiesel.			
▪ Even though sufficient scientific and technological expertise for biodiesel production exists in Mexico, there is little coordinated effort.			

Opportunities	**F**	**P**	**E**
▪ Protection of finite non-renewable resources.			
▪ Generation of a great number of jobs along the whole biodiesel supply chain (i.e. feedstock cultivation, provision, biodiesel processing and use).			
▪ Development opportunities for agricultural regions contribution to regional value added).			
▪ Reclaiming of degraded land with suitable low- or non-irrigation plantations (e.g. Jatropha); first major initiatives by the Government of Michoacán.			
▪ Availability of suitable climates in Mexico with potentials for growing high-yield crops like palm africana or coconut palm.			
▪ Implementation of biodiesel (e.g. as B100 and blend) into existing fuel distribution infrastructure and fleets of e.g. heavy duty machinery, trucks and buses without major modifications of transport technology.			
▪ Noticeable lower GHG-emission for all biodiesel compared to PEMEX diesel.			
▪ Improved urban air quality, contributing to improved public health.			

Threats	**F**	**P**	**E**
▪ A key barrier to uptake of biofuels into the market, cited by both oil companies and biofuel producers, is the high level of commercial risk associated with market entry.	■	■	
▪ Strong dependency on global vegetable oil market. A stronger demand for oilseeds may lead to a shortage of supply for vegetable oil producers (a concern put forward by industry representatives).	■		
▪ International competition; if no protection measures are introduced for domestic producers, Mexico may end up importing all its biodiesel needs.	■		
▪ Quality control not implement yet, which could result in quality fluctuations as well as in loss of acceptance on the end user side.	■		■
▪ Promotion of acceptance of biodiesel production and use in the population.		■	■
▪ Unregulated / unsupervised introduction of energy plantations may lead to unsustainable situations, e.g. deforestation in tropical regions to make room for palm oil plantations (as e.g. in Malaysia).	■		
▪ Non-economic use of by-products (e.g. for energy purposes, fodder) may cause a residue or emission problem.		■	■
▪ Implementation of oil seed production that is harmonized with the WTO regulations.	■		

Recapitulating the feedstock issues are the key question of the success of the market implementation of biodiesel in Mexico. Moreover, in terms of production and end-use activities should be focused on the distribution of information to stakeholders along the whole biodiesel supply chain.

8 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Based on the shown results of the different aspects associated to the production and implementation of biodiesel into the Mexican energy system the following conclusions and recommendations are drawn with regard to technical, economic and environmental perspectives as well as the role of the seed crushing and oil refining industry, agricultural perspectives and research and technology development.

Technical perspectives

- Biodiesel production based on rape seeds and soy beans is technical matured worldwide. Apart from few parameters jatropha-biodiesel is technical conceivable; Palm-biodiesel does not allow the esters to meet cold flow requirements without winterization in temperate region.
- It is necessary to develop a national standard for biodiesel (B-100) and blends of biodiesel and conventional (fossil) diesel fuel (e.g. B-5). This standard may be based on the US or European experiences but should specifically address the following points
  - The cold flow properties in a subtropical/tropical country like Mexico are much less critical than in the U.S. or Europe; therefore much less stringent requirements may be written into the code. This may allow to use higher fractions of palm oil- or tallow-based biodiesel in biodiesel/diesel blends.
  - To account for the different climate zones in Mexico a zonified standard may be developed.
  - The standard has to be developed in close consultation with the national automotive industry.
  - Additionally specific standards and tests for blends should be developed to mitigate the utilization of inappropriate residues as part of the fuel formulation (straight vegetable oil, residues from petroleum refining etc.).

Economic perspectives

- Currently, as in most countries, biodiesel production from virgin vegetable oils is not economically viable without suitable incentives from the government (e.g. tax reduction). The key reasons are the strong dependency of the biodiesel cost on feedstock prices (which are essentially at international levels in Mexico) and the very low price of fossil diesel fuel. Even though currently biodiesel is not taxed as a fuel, this rather coincidental situation (arisen in a strongly oil-dependent country) should be turned into a permanent or time-limited tax exemption guaranteed by an explicit law. Without such proper legal previsions there may be no security for potential investors.
- The feasibility of the biodiesel production also depends on the revenues of by-products, which are forwarded to the fodder market. One effect of the international biodiesel activities is a global surplus of those by-products (and very low prices of fodder). With regard to this feedstock with lower by-product rates seams to be more promising.

Environmental perspectives

- The production of biodiesel can contribute to the GHG-emission reduction significantly. A general reduction in the range of 100g CO_2-equivalent per km combined with an average CO_2 reduction costs of 2.000 MX$ per ton CO_2-equivalent can be expected.
- Biodiesel from palm oil can contribute to the GHG-emission reduction significantly. But, if the cultivation of oil palms lead to significant carbon losses of the soil this might be converted into negative. So, to ensure the effects on climate gas reduction, certain criteria for the production of palm oil should be developed and applied.

Agriculture perspectives

The bottleneck for a biodiesel introduction in Mexico is the agricultural sector. Therefore an extensive agricultural supporting scheme has to be established to achieve a domestic supply of feedstock. If so, the development of a biodiesel sector can be a significant development opportunity for Mexico and its rural sector. The stimuli for a more dynamic rural economy should include the following aspects:

- All activities according the support of oil seed production as well as biodiesel production have to be initiated in respect a sustainable development. In this context deforestation aspects which could be connected with the industrial palm oil production should be considered. Therefore defined land use criteria's should be part of a national oil crop supporting mechanism. To support small scale oil crop cultivations, which in particular increase the rural agricultural value added and support the biodiversity a specific promotion scheme should be initiated (e.g. Brazilian biodiesel program).
- For some oil crops a better understanding of the cultivation is needed (palma africana, jatropha). The knowledge out of those research activities need to be transferred thru educationally programs to the rural population.
- The formation of specialized cooperatives, allowing for synergies through the joint utilization of machinery, access to financing and technical assistance should be encouraged.
- The financing agencies, especially FIRA, should be encouraged to create special programs tagged for the biodiesel or biofuel production at preferential interest rates. As an additional feature, it is suggested that these credits be marketed directly by FIRA and/or its consultants, avoiding costly overheads at the commercial banks generally used as intermediaries. Training activities are needed too.
- The integration of oilseed production and seed crushing/oil refining/biodiesel production (wherever economically viable) should be encouraged to create a stronger retention of added value in rural areas.
- A detail register of the potential area for oil crop production under consideration of all sustainability criteria's should be accomplished to define well-balanced goals for a biodiesel extension. Only plots of land contained in this register should qualify for federal or state incentives. The elaboration of this census should be overseen by an inter-ministerial commission formed by members from the Ministries of the Environment (SEMARNAT), Agriculture (SAGARPA) and Energy (SENER).

The role of the seed crushing and oil refining industry

Mexico currently imports most of its oilseeds. Due to the latter, a tax exemption for biodiesel alone is not a suitable measure to promote biodiesel production and utilization. Therefore, an increased oilseed production (in response to, e.g., government incentives/programs) should be stimulated in general, considering the following effects:

- The national seed crushing and refining industry will be willing to provide their (necessary) collaboration only if their concerns regarding their core business are properly addressed. Vegetable oil producers are natural allies and collaborators in the biodiesel business, but may turn into adversaries if the promotion process is not conducted properly.
- Flexible production at vegetable oil crushing and refining facilities lowers the investment cost, minimizes risk and may benefit from a host of synergies process integration, utilization of existing staff and analytic facilities. Additionally, vegetable oil producers have an intimate knowledge of the (agricultural) oilseed sector. Flexible production has been a key factor for the success of the Brazilian sugar/ethanol industry. Flexible production may allow vegetable oil producers to harvest benefits from the purchase of subsidized oilseeds for biodiesel production, allowing to strengthen its core business instead of harming it.
- The implementation of a new market can lead to short term shortage of supply of oilseeds and fluctuation of prices. At the current low level of domestic oilseed production, however, this threat is considered to be minor.

Research and technology development

Regarding R&D, activities should be emphasised to e.g.:

- the establishment of agricultural research to improve the energy crop productivity especially towards broad variety of the different species and the establishment of new cultivation systems
- the cooperation with PEMEX investigations on the understanding of the hydrogenation options especially for the use of palm oil should be initiated.
- the creation of regional research and development centres for biodiesel and provide continuous funding. Private industries should be welcomed to participate but basic funding should be provided by government to assure to the availability of information relevant to the interested public. This baseline funding could be provided by a small state tax on fuels.
- the institute outreach and technical assistance programs at these R&D centres. Part of this effort may be combined with the existing agricultural research and technology centers operated by the Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México (FIRA).
- the creation of technology companies, both national and joint-ventures with foreign companies, through seed funding and soft credits. Preference should be given to small and medium-size companies.

- address the automotive industry an important and powerful potentially. Even though no specific need for "flex-fuel" vehicles exists in the biodiesel sector (as opposed to the ethanol sector) the automakers do clear their diesel vehicles for a certain percentage of biodiesel content only. Therefore, a request or possibly requirement should be issued to introduce such "more flexible" vehicles into the market.

Financing and incentives

A host of incentives is required to create a functioning national biodiesel program. Summarizing, we the following incentives could support the biodiesel market introduction:

- Direct marketing of FIRA loans at TIE–6% for (smaller) biodiesel projects.
- Technology transfer through regional biodiesel centres.

However, these incentives are likely to be insufficient for a wider introduction of biodiesel (other than the one produced from waste vegetable oil), since the lion's share of the biodiesel production cost can be attributed to the cost of raw materials, particularly vegetable oil.

REFERENCES

(AGQM, 2006) Biodiesel Quality Management Work Group AGQM): Running vehicles successfully on biodiesel. Berlin, 2006

(Banco de México, 2006) Banco de México: Índice nacional de precios al consumidor mensual), 2006

(Berger, 2004) Peter Christian Berger: Best Case Fallbeispiel der Europäischen Biodieselindustrie. Schriftenreihe Umweltschutz und Rsourcenökonoimie, Band 42, Wien 2004

(Becker 2005) Becker, K. Francis, G.: Biodiesel from Jatropha plantations on degraded land; Universität Hohenheim; Stuttgart; 2005.

(Best 2006) Best Gustavo.: Presentation at the UN Foundation Conference Sustainable Bioenergy Challenges + Oppertunities, Bonn October 2006.

(Boyd, 2004) Mike Boyd, Biodiesel in British Columbia - Feasibility Study Report, Eco-Literacy Canada, April 27, 2004

(Cámara de Diputados, 2005) Cámara de Diputados del Congreso de laUnión LIX Legislatura. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. México DF, December 2005

(Cámara de Diputados, 2005) Cámara de Diputados del Congreso de laUnión LIX Legislatura. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. México DF, December 2005

(EEA, 2006) European Environment Agency).: How much bioenergy con Europe produce without harming the environment? Cophenhagen; 2006.

(EnAu, 2003) Environment Australia.: National Standard for Biodiesel – Discussion Paper; Commonwealth of Australia; March 2003

(EurObservER, 2006) EurObserv'ER: Biofuels Barometer. Systèmes solaires n° 173, Paris, France, May 2006

(Falk, 2001) O. Falk, G. Sutor, S. Wiegland.: Studie – Altspeisefette: Aufkommmen und Verteilung, Technische Universität München, April 2001

(FBDS, 2005) FBDS – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.: Liquid Biofuels for Transportation in Brazil; German Technical Cooperation GTZ), November 2005

(Foon, 2005) Cheg Sit Foon et. al.: Palm biodiesel: Geraring towards malaysian biodiesel standard. Malysian palm oil board. 2005

(FBDS, 2005) Fundacao Brasileira para Desenvolvimento Sustentavel; Commissioned German Technical Cooperation (GTZ); Rio de Janeiro; 2005

(Gerpen et al., 2004a) Gerpen, J. van; Clements, D; Knothe, G.: Biodiesel Production Technology August 2002-January 2004, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36244, July 2004

(Gerpen et al., 2004b) Gerpen, J. van; Clements, D; Knothe, G.: Biodiesel Analytic Methods August 2002-January 2004, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36240, July 2004

(Gerpen, 2004) Gerpen, J. van.: Biodiesel Management for Biodiesel Producers August 2002- January 2004, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-36242, July 2004

(Graff, 2006) Graff, G.: Glycerin glut send price plummenting. Article from the pages of Purchasing Magazine Online, June 2006

(Hilber 2005) T. Hilber, et. al.: Animal fats perform well in biodiesel; Rendermagazine; Fbruary 2006

(IEA, 2005) International Energy Agency IEA); Wörgetter, M. & Bacovsky, D.: Report on the National Biodiesel Conference and Expo 2005. Conference and Expo Summary, For the IEA Bioenergy Task 39 “Liquid Biofuels”, 2005

(IE, 2006) Institute for Energy and Environment gGmbH: Grafics, Assumptions, Data basis, 2006

(IMP, 2006) Instituto Mexicano del Petroleo: Feasability of biomass derived ethanol as fuel for transportation. Project ME-T1007 - ATN/DO-9375-ME, Activity 2. México’s Energy Picture, April, 2006

(ITSEM, 2006) Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey: Photos, Data basis, 2006

(Kaltschmitt, 2001) M. Kaltschmitt, H. Hartmann.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken, Verfahren; Springer, Berlin, 2001.

(Kinast, 2003) J.A. Kinast Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels andBiodiesel/Diesel Blends, Final Report, Report 1 in a series of 6, Gas

	Technology Institute, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-510-31460, March 2003
(LatinFocus, 2006)	Consumer Prices and Producer Prices, 1997 – 2006, Banco de México and LatinFocus calculations, 2006
(Lazcano, 2006)	I. Lazcano: Aspectos agrícolas y recursos potenciales para el propósito"; Desarrollo de un estudio de factibilidad para el uso del Biodiesel como combustible para el transporte en México. - July 2006.
(Macedo, 2006)	Macedo, Isaias de Carvalho.: Feasibility of Biomass-Derived as Fuel for Transportation; Mexico, July 2006
(Markolwitz, 2004)	M. Markolwitz, Dr. Johannes Ruwwe.: Herstellung von Biodiesel mit Alkoholat-Katalysatoren; Degussa Aktiengesellschaft, Niederkassel-Lülsdorf, Bundesrepublik Deutschland
(Mittelbach, 2004)	Martin Mittelbach, Claudia Remschmidt.: Biodiesel - The comprehensive handbook, Institut for Chemistrz Universitz Gray, 2004.
(NOM, 1994)	Secretaría de Desarrollo Social. Norma Oficial Mexicana. NOM-086-ECO-1994
(Oleoline, 2004)	Oleoline: Glycerin market report. Issue N°65, Montmorency, France June 2004
(Omni Tech, 2005)	Omni Tech International Ltd.: A Survey of Recent Chemical Price Trends – The Potential Impact of Rising Petrochemical Prices on Soy Use for Industrial Applications. Report prepared for the United Soybean Board, Midland; USA; December 2005
(Öko, 2006)	Fritsche et. al.: Sustainability Standards for Bioenergy; commissioned WWF Germany; August 2006
(Poder Ejecutivo Federal, 1994)	Poder Ejecutivo Federal. Reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional del Ramo del Petróleo. México D.F., 1994
(Poder Ejecutivo Federal, 1998)	Poder Ejecutivo Federal: Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, México DF, 1998.
(Promar International, 2005)	Promar International: Evaluation and analysis of vegetable oil markets: The implications of increased demand for industrial

uses on markets & USB strategy, Alexandria, USA, November 2005

(S&T, 2004) S&/T² Consultants Inc..: Biodiesel in North America: Implementation Issues; IEA Bioenergy Task 39,February 2004

(Senado, 2006) Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Senado de la República LIX Legislatura http://www.senado.gob.mx/comisiones/directorio/comarnap/content/agenda/minutas.htm

(Senado, 2006a) Senado de la República LIX Legislatura: Comisión de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. http://www.senado.gob.mx/comisiones/directorio/comarnap/content/agenda/minutas.htm

(Senado, 2006b) Senado de la República Gaceta Parlamentaria: Dictámenes de Primera Lectura. Decreto que expide la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, April 2006

(SENER, 2006) Secretaría de Energia: Prospectiva de petrolíferos 2005-2014, 2006

(SMARN, 2004) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Importancia de la reducción del contenido de azufre en gasolina y diesel. México DF. 2004.

(SPEDT, 2005) Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Balance Nacional de Energía 2004. México D.F. 2005

(TAB, 2002) Technikfolgenabschatzung „Bioenergieträger und Entwicklungsöänder; Deutscher Bundestag; Drucksache 14/9953; 2002

(TFZ, 2002) A. Widmann; K. Thuneke; E. Remmele Pflanzenölbetrieben Blockheizkraftwerke - Leitpfaden / B TU München-Weihenstephan / Bayrische Landesanstalt für Landtechnik / April 2002

(TrabsEnergética, 2006) Transición Energética: De Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, a cargo del diputado cruz lópez aguilar, del grupo parlamentario del pri, August 2006 http://www.funtener.org/pdfs/leybioenergeticos.pdf

(Tyson, 2002) K. Shaine Tyson, Brown Grease Feedstocks for Biodiesel, June 19, 2002

(Tyson & McCormick, 2006) Tyson, K.S. & McCormick, R.L.: Biodiesel handling and use guidelines. Second Edition, National Renewable Energy Laboratory NREL), DoE Energy Efficiency and Renewable Energies, NREL/TP-540-38836, Cole Blvd.Golden, March 2006

(UFOP, 2004) Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.: Ölsäure einfach gut.

(UFOP, 2005) Union for the Promotion of Oil and Protein Plants UFOP): Biodiesel Fakten und Argumente – das Wichtigste in Kürze. Berlin, October 2005

(USDA, 2006) USDA Foreign Agricultural Service; GAIN Report: "México Oilseeds and Products Annual 2006; April 2006.

(VDI, 1996) Verein Deutscher Ingenieure: Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investionsgüter und Anlagen VDI 6025). VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1996

(Zappi, 2003) M. Zappi, et. al.: A Review of the Engineering Aspects of the Biodiesel Industry, MSU E-TECH Laboratory Report ET-03-003, Mississippi Biomass Council, August 2003.

(Zhang, 2003) Y. Zhang.: Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment Bioresource Technology 89 2003) 1–16, 21 January 2003

APPENDIX

Table A-1 Land costs (Data examples ITESM, 2006)

Parque Industrial Tepeji	
Address	Km 60.5 autopista Méx.-Qro, Tepejil del Río de Ocampo HGO
Location	108 km de Pachuca, 60 km de la Cd. de Mexico y 140 km de Qro.
US$/m^2	30-35
Lot size (m^2)	Aproximadamente de 10,000 cada uno
Infrastructure	Electricity, rain and sanitary drainage, drinking water, partially paved roads, telephone and support services

Parque Industrial Hidalgo	
Address	Calle periférica esquina libramiento Calpulalpan, Tepeapulco HGO
Location	80 km de Pachuca, 60 km de Tulancingo y 15 km de APAN
US$/m^2	14-22
Lot size (m^2)	5,000
Infrastructure	Electricity, drinking water, partially paved roads, telephone and support services

Parque Industrial Atitalaquia, S.A de C.V	
Address	Carretera Jorobas-Tula Km 24.5, Atitalaquia HGO
Location	103 km de Pachuca, 124 km de Tulancingo, 8 km de Tula, 82 km DF
US$/m^2	25-30
Lot size (m^2)	5,000-10,000-11,000-20,000
Infrastructure	Electricity, rain and sanitary drainage, drinking water, partially paved roads, telephone and support services

Parque Industrial Toluca 2000	
Address	Carretera Toluca-Naucalpan Km 52.8, Toluca Edo. Méx.
Location	50 km DF, 10 km Toluca, 52 km Naucalpan
US$/m^2	400
Lot size (m^2)	10,000-11,000-12,000-13,500-14,500-15,300-16,300
Infrastructure	Electricity, rain and sanitary drainage, industrial waste water discharge, drinking water, 100% paved roads, telephone and excellent support services

Cedros Business Park	
Address	Autopista Méx.-Qro. km 41.88
Location	30 km DF, 80 km Toluca, 170 km Querétaro
US$/m^2	250
Lot size (m^2)	2,000-3,000-3,500-4,000-6,500-8,800
Infrastructure	Electricity, sanitary drainage, drinking water, partially paved roads, telephone and support services

Nor-T Parque Industrial	
Address	Av. José López Portillo y Calle Olivo, Tultitlán Edo. Méx.
Location	20 km DF, 80 km Toluca, 180 km Querétaro
US$/m^2	80
Lot size (m^2)	8,600-15,400-23,000-30,000
Infrastructure	Electricity, water treatment plant, sanitary drainage, industrial waste water discharge, drinking water, partially paved roads, telephone and support services

Table A-2 Companies with demand on glycerin (Data examples ITESM, 2006)

Companies
Avon Cosmetics S.A. de C.V.,
Aprotec de Mexico S.A. de C.V.,
Bayer de Mexico, S.A. de C.V.,
Casa Rocas, S.A. de C.V.,
Dow Química Mexicana, S.A. de C.V.,
Enmex, S.A. de C.V.,
Grupo Warner Lambert Mexico, S.A. de C.V.,
Holland Chemical Mexicana, S.A. de C.V.,
Industrias Crown Chemical, S.A. de C.V.,
Kimberly Clark Printing Technology, Lexmark International, S.A. de C.V.,
Polioles, S.A. de C.V.,
Resinas Sinteticas, S.A. de C.V.,
Sigma-Aldrich Química S.A. de C.V.

5 Advisory Board Sessions

Comité Consultivo sobre Biocombustibles en México

Martes 14 de marzo 2006

Secretaría de Energía (SENER)
Sala de Usos Multiples (planta baja)
Insurgentes Sur 890, Col. Del Valle
Ciudad de México

9:00 **Registro**

9:30 **Bienvenida** (Dr. Alejandro Dieck Assad, Subsecretario SENER)

9:45 **Introducción – Estudios de Viabilidad de Producción y Aprovechamiento de los Biocombustibles en México** (Moderación: Juan Mata)

- Bernhard Bösl (GTZ – Cooperación Técnica Alemana)
- Arnaldo Vieira (BID)
- Juan Mata (SENER)

10:30 ***Coffee Break***

1ª Sesión de Trabajo del Comité Consultivo sobre Biocombustibles en México

11:00 **Apertura** (Moderación: Omar Masera)

- Bienvenida (Juan Mata)
- Presentación de los Participantes
- Funcionamiento del Comité Consultivo (Omar Masera)

12:00 **Biocombustibles – Tendencias Internacionales y Perspectivas para México** (Moderación: Omar Masera)

- La Situación Internacional y Visiones para México (Consultores internacionales)
- Primeros Escenarios para México (Nicolás Rodríguez)
- Experiencia y Perspectivas para México (Participantes)

14:00 ***Comida***

15:30 **¿Biocombustibles – Una Oportunidad para México?** (Moderación: Omar Masera)

- Discusión Panel
- Preguntas y Respuestas

16:30 **Clausura** (Juan Mata)

Comité Consultivo sobre Biocombustibles en México

2ª Reunión de Trabajo

ORDEN DEL DÍA

Martes 30 de mayo 2006
Centro de Capacitación en Calidad. SENER

9:30 **Registro**

10:00 **Bienvenida**

Alejandro Dieck Assad. Subsecretario de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico

10:10 **Presentación del Orden del Día e Introducción**

Juan Mata Sandoval. Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente

10:25 **Estudio de Viabilidad de Producción y Aprovechamiento de los Biocombustibles en México**

- **Avances Generales**
  Omar Masera. Coordinador del Estudio
- **Panorama Económico de México**
  Omar Masera. Coordinador del Estudio
- **Análisis de Combustibles Líquidos en México, Perspectiva del Consumo de Energía**
  Nicolás Rodríguez. Consultor IMP
- **Situación Agrícola de México Etanol/Biodiesel**
  Ignacio Lazcano. Consultor

11:50 ***Receso***

12:00

- **Insumos Potenciales para Etanol/Biodiesel**
  Ignacio Lazcano. Consultor
- **Escenarios de Producción Basados en Mezclas (Biodiesel)**
  Michael Weber. Consultor. Instituto de Leipzig. Alemania

12:50 **Status y Comentarios sobre el *Proyecto de ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos***

Juan Mata Sandoval. Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente

13:00 **Proyecto de Producción de Biodiesel. Estado de Michoacán**

Rubén Lazos. Coordinador de Relaciones Interinstitucionales Oficina del Gobernador de Michoacán

13:15 **Panel de Discusión.**

Moderador: Omar Masera. Coordinador del Proyecto.

- Intervenciones de los Miembros del Comité.
- Sesión de Preguntas y Respuestas

13:55 **Clausura**

Juan Mata Sandoval. Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente

Nota: se anexa mapa del CECAL

Comité Consultivo sobre Biocombustibles en México

3ª Reunión de Trabajo

ORDEN DEL DÍA

Martes 15 de Agosto 2006
Salón de Usos Múltiples de la SENER

9:30 **Registro**

9:45 **Bienvenida**

Alejandro Dieck Assad. Subsecretario de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico

10:00 **Presentación del Orden del Día e Introducción**

Juan Mata Sandoval. Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente

10:15 **Estudio de Viabilidad de Producción y Aprovechamiento de los Biocombustibles en México**

- **Avances Generales**
  Omar Masera. Coordinador del Estudio
- **Producción y Utilización de Etanol e ETBE en México: Situación Actual y Perspectivas Futuras**
  Luiz Augusto Horta Nogueira. Consultor
- **Análisis del Potencial de Biocombustibles Líquidos en México, Perspectiva del Consumo de Energía**
  Isaías C. Macedo. Consultor

11:15 ***Receso***

11:30
- **Problemas y Oportunidades del Etanol como Combustible en México**
  Sergio C. Trindade. Consultor
- **Producción y Utilización de Biodiesel en México: Situación Actual y Perspectivas Futuras**
  Daniela Thrän. Consultor

12:15
- **Uso de Bicombustibles en el Sector Transporte**
  Nemesio Ruíz. AMIA / Arturo Massutier. ANPACT

12:50 **Panel de Discusión**

Moderador: Omar Masera. Coordinador del Proyecto
- Intervenciones de los Miembros del Comité
- Sesión de Preguntas y Respuestas

14:20 **Clausura**

Juan Mata Sandoval. Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente

Asistentes a las Sesiones del Comité Consultivo sobre Biocombustibles en México

- Alberto Llerena V.
  Gestor y Operador
  Universidad Autónoma de Chapingo
  Tel/Fax: (55) 59-5952-1558
  E-mail: allerena@correo.chapingo.mx; f.allerenav@gmail.com

- Alejandro Dieck
  Subsecretario de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico
  SENER
  Tel/Fax: (55) 5000-6000
  E-mail: adieck@energia.gob.mx

- Amadeo Ibarra Hallal
  Director General – Presidente
  Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (ANIAME)
  Presidencia del Comité Nacional del Sistema Producto de Oleaginosas
  Tel/Fax: (55) 5533-2859
  E-mail: aibarra@aniame.com

- André Eckermann
  Asesor GTZ – México
  el/Fax: (55) 5000-6000 Ext. 2160
  E-mail: andre.eckermann@gtz.de

- Antonio Sierra
  General Motors
  Tel/Fax: (55) 5901-3195
  E-mail: antoniorra@gm.com

- Arnaldo Vieira de Carvalho
  Especialista de Energía
  BID
  Tel/Fax: 1-202-623-1719
  E-mail: arnaldovc@iedb.org

- Bernhard Bösl
  Director General
  GTZ – México
  Tel/Fax: (55) 58 03 99 35
  E-mail: bernhard.boesl@gtz.de

- Carlos Blackaller Ayala
  Presidente
  Unión Nacional de Cañeros
  Tel/Fax: (55) 5564-6995
  E-mail: cblackaller@caneros.org.mx

- Carlos Gómez Flores
  Presidente del Comité Directivo para el Desarrollo Sustentable
  CANACINTRA
  Tel/Fax: 5243-4087
  E-mail: cgomez@gen.tv

- Claudio Alatorre Frenk
  Instituto de Ingeniería, UNAM
  Tel/Fax: 01(443)319-1125
  E-mail: caf@pumas.ii.unam.mx

- David Magaña Lemus
  Especialista FIRA
  Tel/Fax: 01 (443) 322 2512 Ext. 3402
  E-mail: dmagana@correo.fira.gob.mx

- Daniela Thrän
  Consultora
  IE – Leipzig
  Tel/Fax: 49 (0) 341 - 2434 – 435
  E-mail: Daniela.Thraen@ie-leipzig.de

- Daniel Gómez Bilbaw
  Subdirector
  PEMEX
  Tel/Fax: 1944-2500 Ext. 53159

- Eduardo López Pérez
  Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (ANIAME)
  Tel/Fax: (55) 5533-2847, 5525-7551
  E-mail: aniame@aniame.com

- Fernando Marty Ordoñez
  Coordinador de Asesores del Secretario
  SENER
  Tel/Fax: 5000 6000 ext 1217
  E-mail: fmarty@energia.gob.mx

- Fidel Flores Cotera
  Coordinador de Asesores de la Subdirección de Planeación, Coordinación y Evaluación
  PEMEX Refinación
  Tel/Fax: (55) 1944- 8353, (55) 1944-2500 Ext. 58857
  E-mail: ffloresc@ref.pemex.com

- Francisco López Tostada
  Subsecretario de Agricultura
  SAGARPA
  Tel/Fax: 9183-1084
  E-mail: flopez@sagarpa.gob.mx

- Francisco Mere
  Director General
  FIRA
  Tel/Fax: 5499-1901
  E-mail: fmere@correo.fira.gob.mx
- Gerardo Hiriart
  Investigador
  Instituto de Ingeniería UNAM
  Tel/Fax: 5623-3500 ext. 1650
  E-mail: ghiriarte@ii.unam.mx

- Gloria Margarita Álvarez
  Subdirectora
  CEDRSSA
  E-mail: gloria.alvarez@congreso.gob.mx

- Guillermo Campos Coy
  Director de Cadenas Agroindustriales
  Secretaría de Economía
  Tel/Fax: (55) 5229-6100 Ext. 34209
  E-mail: gccoy@economia.gob.mx

- Hugo Bautista Cavaría
  Gerente
  Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (ANIAME)
  Presidencia del Comité Nacional del Sistema Producto de Oleaginosas
  Tel/Fax: (55) 5533-2847, 5525-7551
  E-mail: hbautista@oleaginosas.org

- Ignacio Lazcano Martinez
  Consultor Independiente
  Mesón del Prado 188 Col. Villas del Mesón. Querétaro, Qro.
  Tel/Fax: 01 (442) 234 - 2576; 01 (442) 234 - 3112; 044-55- 2508-9484
  E-mail: ilazcano29@yahoo.com.mx

- Isaías C. Macedo
  Consultor
  UNICAMP
  Tel/Fax: (19) 3289 3125 / 5499
  E-mail: isaiasmacedo22@terra.co.br

- Javier Aguillón
  Secretario General de la Red Mexicana de Bioenergía - I.I (Rembio)
  UNAM
  Tel/Fax: (55) 5623-3500 Ext. 1111
  E-mail: jea@pumas.ii.unam.mx

- Javier Chávez Navarro
  Subdirector de Comisiones y Representaciones
  CANACINTRA
  Tel/Fax: (55) 54 82 30 00 Ext. 1437 y 1439
  E-mail: jchavez@canacintra.org.mx

- Juan Cristóbal Mata Sandoval
  Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Medio Ambiente
  SENER
  Tel/Fax: 5000-6000 Ext. 1057
  E-mail: jmata@energia.gob.mx

- Juan Francisco Ortega
  Asesor
  PEMEX
  Tel/Fax: 1944-2500 Ext. 53159
  E-mail: jfortega@ref.pemex.com

- Juan Manuel Ávalos A.
  Asesor Unión Nacional de Cañeros
  Tel/Fax: (55) 5564-6995
  E-mail: javalos@caneros.org.mx

- Jorge Terrones
  Consultor
  OleoSur, S.A. de C.V.
  Tel/Fax: 5525-5425, 5525-5412
  E-mail: jfterronesm@prodigy.net.mx

- Kevin C. Smith
  Managing Director
  Energy Sistems Internacional
  Tel/Fax: 831 - 656 – 9588
  E-mail: Kcssac@aol.com

- Luiz Augusto Horta Nogueira
  Consultor
  CERNE / UNIFEI
  Tel/Fax: (035) 3622 – 4321
  E-mail: horta@unifei.edu.br

- Manuela Prehn
  Colaboradora
  Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO)
  Antigüa Carretera a Pátzcuaro No. 8701 Morelia, Michoacán. México
  Tel/Fax: (01) 44 33 22 27 09
  E-mail: mprehn@oikos.unam.mx

- Manuel Enríquez Poy
  Vicepresidente
  Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcoholera (CNIAA)
  Tel/Fax: (55) 5519-7835
  E-mail: poymanuel@prodigy.net.mx
  E-mail: cmsamex@prodigy.net.mx

- Manuel José Molano Ruíz
  Director General del Fideicomiso Comercializador FICO
  Tel/Fax: (55) 5062-6792 y 88

- María Elena Sierra
  Directora de Energía y Medio Ambiente
  SENER
  Tel/Fax: 5000-6000 Ext. 2165
  E-mail: esierra@energia.gob.mx

- Martha Griselda Alva de la Selva
  Directora de la Industria Química y Farmacéutica
  Secretaría de Economía
  Tel/Fx: (55) 5229-6100 Ext, 34203
  E-mail: mgalva@economia.gob.mx

- Miguel Hernández Storey
  Director de Banca Corporativa y de Inversiones
  FIRA
  Tel/Fax: (443) 3222336
  E-mail: Mhernadez

- Nemesio Ruíz Aguilar
  Director Técnico
  Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, A.C.
  Tel/Fax: (55) 5272-1144, (55) 5272-7139
  E-mail: nemesio@amia.com.mx

- Nicolás Rodríguez Martínez
  Director de Seguridad y Medio Ambiente
  IMP
  Tel/Fax: 9175-0139
  E-mail: nrmartin@imp.mx

- Omar Masera Cerutti
  Coordinador de Consultores
  Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO)
  Tel/Fax: 5623-2709
  E-mail: omasera@oikos.unam.mx

- Oliver Flores Parra B.
  Desarrollo de Mercado
  FEESA – SAGARPA
  Tel/Fax: 5062 – 6791
  E-mail: oflores@feesa.com

- Oliver Probst
  Director de Departamento
  ITESM – Monterrey
  Tel/Fax: (01-81) 8358-2000 Ext. 4630
  E-mail: oprobst@itesm.mx

- Oscar Fernández
  Volkswagen
  Tel/Fax: 01 (222) 230-6561
  E-mail: oscar.fernandez@vw.com.mx

- Pascual Alvarado
  Asesor UPCACNC, AC
  Tel/Fax: (55) 2775 – 2469
  E-mail: pas_alvarado@yahoo.com

- Ramón Carlos Torres Flores
  Dirección General de Energía y Actividades Extractivas
  SEMARNAT
  Tel/Fax: (55)5628-0663 (55)5628-0737 (55)5628-0600 Ext.12143
  E-mail: rctorres@semarnat.gob.mx

- Ramón Torres Enríquez
  Subdirector P. Sectoriales
  SENER
  Tel/Fax: 5000 – 6000 Ext. 1382
  E-mail: ctorres@energia.gob.mx

- Raúl Cortés García
  Coordinador de Reconversión y Diversificación de la Industria Cañera
  Universidad Veracruzana Centro Virtual de Investigación Multidisciplinaria
  Tel/Fax: (01-228)815-3662 y 841-8931
  E-mail: rcortesg50@yahoo.com.mx; racortes@uv.mx

- Raúl Rodríguez García
  Director de Impacto Ambiental y Fuentes Renovables
  SEMARNAT
  Tel./Fax: (55) 5628-0772
  E-mail: mrodriguez@semarnat.gob.mx

- Roberto Capuano
  Consultor
  Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – SEMARNAT
  E-mail: rcapuano@rntgors.edu

- Rosario Conde B.
  Consultor Independiente
  Tel/Fax: 01 (442) 234 - 2576; 01 (442) 234 - 3112; 044-55- 2508-9484
  E-mail: ilazcano29@yahoo.com.mx

- Sergio c. Trindade
  Presidente
  SE 2T International, LTD
  Tel/Fax: 1-914-725-8230
  E-mail: strindade@alum.mit.edu

- Wiebke Mai
  Practicante
  GTZ – México
  Tel/Fax: (55) 5000-6000 Ext. 1088
  E-mail: wiebke_mai@yahoo.de