

MANUAL DE BIOCOMBUSTIBLES

MANUAL DE BIOCOMBUSTIBLES

AUTORES

Federico Ganduglia – IICA

Equipo de Proyectos de Biocombustibles de ARPEL: José Guillermo León (ECOPETROL); Raúl Gasparini y María Elena Rodríguez (YPF (Grupo RepsolYPF)); Guillermo José Huarte (ExxonMobil); José Estrada (PETROPERU); Ernani Filgueiras (IBP)

Octubre de 2009

Manual de Biocombustibles
ARPEL ICA#6-2009

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura (IICA)
Vázquez de Coronado, San Isidro Apdo. 55-2000
11101 San José, COSTA RICA
Tel.: (506) 216-0222
Fax: (506) 216-0296
Correo electrónico: iicahg@iica.int
Sitio web: www.iica.int

Asociación Regional de Empresas de Petróleo y
Gas Natural de América Latina y el Caribe (ARPEL)
Javier de Viana 2345
CP 11200 Montevideo, URUGUAY
Tel.: (598-2) 410-6993
Fax: (598-2) 410-9207
Correo electrónico: arpel@arpel.org.uy
Sitio web: www.arpel.org

Autores El presente manual fue elaborado a solicitud del Comité de Refinación de ARPEL, por:

Sección 1: DOWNSTREAM:

José Guillermo León – ECOPETROL – Líder del EPB
Raúl Gasparini y María Elena Rodríguez – YPF (Grupo RepsolYPF)
Guillermo José Huarte – ExxonMobil
José Estrada – PETROPERU
Ernani Filgueiras – IBP
Con la colaboración de:
Carolina Chiozza – YPF (Grupo RepsolYPF)
Maura Moreira, Mauro Silva – PETROBRAS
Irene Alfaro - ARPEL

Sección 2: UPSTREAM: *Elaborada en base a un acuerdo de cooperación técnica entre ARPEL e IICA, por:*

Federico Ganduglia – IICA
Con la colaboración de:
Paula Nieto Alemán – IICA

Agradecimientos Frederico Kremer, Sergio Fontes, Geraldo Diniz - PETROBRAS
Cecilia Cascardo – YPF (Grupo RepsolYPF)
Marcos Benzecry y Luiz Filipe Veiga - ILOS
Emilio Ruz – Especialista Regional en Tecnología e Innovación IICA y Secretario Ejecutivo PROCISUR
Frederique Rosa e Abreu (IICA)
Oficinas del IICA en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Paraguay, Perú y Uruguay

Derechos de Autor Los derechos de autor del presente documento, ya sea en su versión impresa, electrónica (CD o disquete) o de otra índole, pertenecen al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y a la Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL). Toda copia de este documento debe incluir este aviso sobre los derechos de autor. Al utilizar este documento en el futuro, el usuario le dará a IICA y ARPEL todos los créditos como fuente de información.

Exoneración de responsabilidad Aunque se ha realizado todo el esfuerzo para asegurar la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni IICA, ni ARPEL, ni ninguno de sus miembros, asumen responsabilidad por cualquier uso que se haga de la misma.

Registro Internacional ISBN13: 978-92-9248-121-6

Índice

	Resumen Ejecutivo	i
1	Razones para impulsar o no a los biocombustibles	ii

Sección 1: Downstream

2	Aspectos técnicos del biodiesel	1
	2.1 Aspectos Generales	1
	2.1.1 Proceso para la obtención de biodiesel	1
	2.1.2 Materias primas para la producción de biodiesel	2
	2.1.2.1 Conversión de la materia prima en aceite vegetal	3
	2.1.2.2 Transformación química de los aceites en ésteres	4
	2.1.3 Factores que influyen en el proceso de producción	5
	2.1.4 Especificación de biodiesel	8
	2.1.5 Aseguramiento de la calidad por parte de los proveedores	11
	2.1.6 Mezclas posibles garantizadas por fabricantes de motores y automóviles	11
	2.1.7 Desempeño del biodiesel (B100 y otras mezclas)	12
	2.1.7.1 Contenido energético del B100	13
	2.1.7.2 Propiedades frías del B100	14
	2.1.7.3 Número de Cetano del B100	15
	2.1.7.4 Estabilidad del B100	15
	2.1.7.5 Índice de Yodo	17
	2.1.7.6 Efectos sobre las propiedades del diesel en las mezclas de biodiesel (Bx) de soja	17
	2.1.8 Desempeño en motores del biodiesel puro y sus mezclas con diesel	22
	2.1.9 Aditivos	22
	2.1.9.1 Antioxidantes	22
	2.1.9.2 Mejoradores de flujo	23
	2.1.10 Análisis energético y de impacto ambiental del ciclo de vida del biodiesel	23
	2.1.10.1 Balance de energía del ciclo de vida	24
	2.1.10.2 Emisiones de CO ₂	25
	2.1.10.3 Emisiones de material particulado y CO	26
	2.1.10.4 Emisiones de NO _x	26
	2.1.10.5 Aguas y sólidos residuales	26
	2.1.10.6 Consumo de agua	26
	2.2 Aspectos Específicos	26
	2.2.1 Disposición de la glicerina – usos alternativos	26
	2.2.2 Bio-Refinación: co-procesamiento de aceite vegetal o grasas en unidades de refinación existentes	29
	2.2.2.1 HBIO en Brasil	29
	2.2.2.2 Biocetano en Colombia	31
	2.2.3 Biocombustibles de segunda generación	31
	2.2.4 Biomasa	33
	2.2.5 Biogás, BTL, GTL	34
3	Aspectos logísticos de la cadena de producción del biodiesel	43
	3.1 Introducción	43
	3.2 Recepción	44
	3.3 Almacenamiento	45

3.4	Transporte	47
3.4.1	Inconvenientes en el transporte	48
3.5	Mezcla de B100 y diesel	48
3.5.1	Mezcla en refineries o terminales.....	49
3.6	Instalaciones necesarias.....	50
4	Aspectos de ambiente, salud y seguridad del manejo de biodiesel	51
5	Aspectos económicos del biodiesel	52
6	Aspectos reglamentarios de los biocombustibles	54
6.1	Argentina	54
6.2	Brasil	54
6.3	Colombia	56
6.4	Perú.....	57
7	Experiencias con biocombustibles en la región	58
7.1	Proyecto AGROPALMA	58
7.2	Pruebas de larga duración de mezclas diesel-biodiesel	59
7.2.1	Funcionamiento de la estación de almacenamiento y mezcla de combustibles	59
7.2.1.1	Diseño y construcción.....	59
7.2.1.2	Optimización de la operación del blender.....	61
7.2.1.3	Plan para el aseguramiento de la calidad de los combustibles.....	62
7.2.2	Conclusiones	63
7.2.2.1	Diseño y operación de la planta piloto de almacenamiento y mezcla de combustibles.....	63
7.2.2.2	Control de calidad de materias primas y mezclas.....	63
7.2.2.3	Seguimiento al funcionamiento de los buses con las mezclas diesel – biodiesel de palma.....	63
7.2.2.4	Revisión al sistema de inyección de los buses que utilizan mezclas diesel – biodiesel de palma.....	63
7.2.2.5	Resultados generales de los análisis de tribología de aceites	64
8	Referencias bibliográficas	65

Sección 2: Upstream

9	Actividad agrícola	67
9.1	Panorama general	67
9.1.1	Una breve mirada hacia los conceptos de bioenergía y los biocombustibles.....	67
9.1.2	El proceso de configuración de la cadena mundial de biocombustibles y la agricultura.....	68
9.1.3	Tendencias mundiales en el uso de materias primas agrícolas para biocombustibles.....	69
9.1.3.1	Utilización de materias primas de disponibilidad inmediata	69
9.1.3.2	Las próximas generaciones de biocombustibles y sus materias primas	74
9.2	Caracterización y potencial de la agroindustria sudamericana para el desarrollo de los biocombustibles	76
9.2.1	El sector agroalimentario en Sudamérica	76
9.2.2	Materias primas para la producción de bioetanol	79
9.2.2.1	Materias primas de disponibilidad inmediata	80
9.2.2.2	Materias primas alternativas	97
9.2.2.3	Materias primas lignocelulósicas.....	109
9.2.3	Materias primas para la producción de biodiesel.....	116
9.2.3.1	Materias primas de disponibilidad inmediata	119
9.2.3.2	Materias primas alternativas	134

9.2.3.3	Otros cultivos y materias primas para la producción de biodiesel.....	153
9.2.4	Consideraciones generales.....	159
9.3	Aspectos económicos, ambientales y sociales del desarrollo de los biocombustibles.....	161
9.3.1	El dilema biocombustibles vs. alimentos.....	161
9.3.2	Biocombustibles y sustentabilidad ambiental.....	167
9.3.2.1	Agricultura y medioambiente.....	167
9.3.2.2	Balances energéticos y de emisiones de los biocombustibles.....	180
9.3.2.3	Criterios, certificación e iniciativas de sustentabilidad en la producción de materias primas para biocombustibles.....	187
9.3.3	Biocombustibles e inclusión social.....	193
9.4	Referencias Bibliográficas.....	197

Lista de Figuras

Figura 2.1.1.1:	Esquema de la reacción de transesterificación con metanol.....	1
Figura 2.1.2.2:	Esquema del proceso productivo del aceite refinado.....	3
Figura 2.1.2.3:	Balance de masa de la reacción de transesterificación.....	4
Figura 2.1.2.4:	Esquema del proceso de transesterificación. Reactivos y productos.....	4
Figura 2.1.2.5:	Esquema de los procesos de separación y purificación del biodiesel.....	5
Figura 2.1.2.6:	Esquema del proceso de acondicionamiento de la fase glicerina.....	5
Figura 2.1.3.1:	Proceso de producción de biodiesel.....	6
Figura 2.1.7.5:	Esquema del Test de Rancimat.....	17
Figura 2.2.1.2:	Aplicaciones actuales de la glicerina y propuestas futuras.....	28
Figura 2.2.2.1:	Co-procesamiento de aceites vegetales o grasas y diesel de petróleo en unidades de hidrotratamiento: esquema de proceso.....	29
Figura 2.2.2.2:	Esquema del proceso HBIO.....	30
Figura 2.2.2.3:	Esquema del proceso FCCU.....	31
Figura 2.2.3.1:	Ciclo de producción del biodiesel de segunda generación.....	32
Figura 2.2.3.2:	Biodiesel de segunda generación a partir de algas.....	33
Figura 3.1.1.1:	Etapas del estudio sobre biodiesel en Brasil (IBP/UFRJ).....	43
Figura 3.1.2.1:	Cadena de producción de biodiesel.....	44
Figura 3.2.1.1:	Esquema para la recepción de B100.....	45
Figura 4.1.1.1:	Señales de advertencia para el transporte de B100.....	51
Figura 7.2.1.1:	Vista externa e interna de los tanques de almacenamiento de combustibles y sus contenedores.....	60
Figura 9.2.3.24:	Zona potencial de cultivo de <i>Jatropha curcas</i>	151
Figura 9.3.2.8:	Extracción de agua con fines agrícolas como % de los recursos de agua renovables totales (1998).....	179
Figura 9.3.2.9:	Área con infraestructura de riego como un % del área total cultivada (1998).....	180
Figura 9.3.3.1:	Vínculos conceptuales entre la expansión de los biocombustibles y el acceso a la tierra.....	194

Lista de Tablas

Tabla 2.1.2.1:	Pronóstico de los principales aceites usados para producción de biodiesel.....	3
Tabla 2.1.3.2:	Ventajas y desventajas de las principales vías de transesterificación de biodiesel.....	6
Tabla 2.1.4.1:	Límites de especificación en el biodiesel: propósito, importancia y efectos de su desviación.....	9

Tabla 2.1.6.1:	Recomendaciones de uso de biodiesel de los fabricantes de automóviles y motores	12
Tabla 2.1.7.3:	Datos de flujo en frío para distintos biodiesel	15
Tabla 2.1.8.1:	Comparación de los niveles de emisión entre el biodiesel (B100) y el diesel	22
Tabla 2.1.10.1:	Requerimiento de energía fósil para el ciclo de vida del diesel de petróleo	24
Tabla 2.1.10.3:	Requerimiento de energía fósil para el ciclo de vida del biodiesel de soja	25
Tabla A1.1:	Especificaciones de biodiesel - valores límites	37
Tabla A1.2:	Especificaciones de biodiesel – métodos de ensayo	38
Tabla A2.1:	Calidad del diesel 1, mezclas, y biodiesel 1	40
Tabla A2.2:	Número de cetano	41
Tabla A2.3:	Flujo en frío	41
Tabla A2.4:	Calidad del diesel utilizado	41
Tabla A2.5:	Calidad del biodiesel utilizado	41
Tabla 3.3.1:	Compatibilidad de elastómeros con biodiesel	46
Tabla 9.1.1.1:	Criterios para clasificar los biocombustibles	68
Tabla 9.1.3.1:	Consumo global de materias primas para biocombustibles en 2007 (Miles de toneladas).....	70
Tabla 9.2.1.1:	Índice de Producción Agrícola	77
Tabla 9.2.1.2:	Disponibilidad y distribución del recurso tierra en América del Sur	78
Tabla 9.2.1.3:	Tierra con potencial cultivable en América del Sur – Todos los cultivos	78
Tabla 9.2.2.1:	Materias primas para la producción de bioetanol. 2007	79
Tabla 9.2.2.4:	Caña de azúcar en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales	82
Tabla 9.2.2.7:	Potencial de expansión de caña de azúcar en la región	84
Tabla 9.2.2.8:	Producción total de cereales en Sudamérica. 2007. (Cifras en toneladas)	88
Tabla 9.2.2.11:	Maíz en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales	90
Tabla 9.2.2.13:	Sorgo granífero en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales	95
Tabla 9.2.2.15:	Mandioca en América del Sur – Estadísticas productivas y comerciales	98
Tabla 9.2.2.17:	Composición de algunas materias primas lignocelulósicas	110
Tabla 9.2.2.18:	Cubierta forestal en América del Sur	112
Tabla 9.2.3.1:	Clasificación de la producción de biodiesel	116
Tabla 9.2.3.2:	Producción de semillas y frutos oleaginosos en Sudamérica. 2007 (cifras en toneladas)	117
Tabla 9.2.3.4:	Producción de aceites vegetales en Sudamérica. 2007 (cifras en toneladas)	118
Tabla 9.2.3.8:	Soja en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales	120
Tabla 9.2.3.12:	Composición y productos de los racimos de Palma Africana	127
Tabla 9.2.3.13:	Palma aceitera en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales	127
Tabla 9.2.3.16:	Evolución de la producción de Palma Africana en la Región Andina	129
Tabla 9.2.3.17:	Colza en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales	135
Tabla 9.2.3.20:	Ricino en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales	141
Tabla 9.2.3.22:	Composición en materia seca de los componentes de Jatropha curcas	147
Tabla 9.2.3.23:	Explotación de los componentes de Jatropha curcas L.	149
Tabla 9.2.3.27:	Oleaginosas tropicales	156
Tabla 9.3.2.1:	Prácticas comunes en la agricultura convencional y sus consecuencias	168
Tabla 9.3.2.3:	Conceptos y principios básicos de la Agricultura de Conservación	173
Tabla 9.3.2.4:	Agricultura de conservación en el mundo	175
Tabla 9.3.2.5:	Disponibilidad y utilización mundial de recursos hídricos renovables	178
Tabla 9.3.2.6:	Recursos hídricos renovables y agricultura en América del Sur	178
Tabla 9.3.2.10:	Balance de energía fósil de combustibles seleccionados	181
Tabla 9.3.2.11:	Balance energético de la producción de biodiesel según diferentes estudios	182

Tabla 9.3.2.12:	Balances de emisiones de GEI de los biocombustibles (sin cambio en el uso de la tierra)	185
Tabla 9.3.2.13:	Valores típicos y valores por defecto estimados para los futuros biocombustibles que no se encuentran en cantidades insignificantes en el mercado en enero de 2008, producidos sin emisiones netas de carbono debidas a cambios en el uso del suelo	186
Tabla 9.3.2.14:	RSB, principios y criterios globales para la producción sustentable de biocombustibles – versión cero	189

Lista de Gráficos

Gráfico 2.1.7.1:	Composición de materias primas para biodiesel	13
Gráfico 2.1.7.2:	Contenido energético del diesel y distintos biodiesel	14
Gráfico 2.1.7.4:	Número de Cetano del FAME de distintos ácidos grasos	15
Gráfico 2.1.7.6:	Curva de destilación de las diferentes mezclas	18
Gráfico 2.1.7.7:	Densidad (ASTM D 4052) de las diferentes mezclas	18
Gráfico 2.1.7.8:	Índice y número de Cetano	19
Gráfico 2.1.7.9:	Número de Cetano	20
Gráfico 2.1.7.10:	Número de Cetano	20
Gráfico 2.1.7.11:	Flujo en frío (POFF)	21
Gráfico 2.1.7.12:	Flujo en frío (POFF)	21
Gráfico 2.1.9.1:	Estabilidad a la oxidación versus concentración de aditivo	23
Gráfico 2.1.10.2:	Ranking de demanda de energía fósil para las etapas de producción del diesel de petróleo.....	24
Gráfico 2.1.10.4:	Requerimiento de energía fósil versus energía en el producto para el ciclo de vida del biodiesel de soja	25
Gráfico 2.2.1.1:	Evolución del precio de la glicerina	27
Gráfico 7.2.1.2:	Seguimiento de las temperaturas del diesel y del biodiesel de palma al momento de abastecimiento de combustible a los buses.	62
Gráfico 9.1.3.2:	Consumo de materias primas para la producción de bioetanol según bloques regionales. 2007	71
Gráfico 9.1.3.3:	Participación de los bloques regionales en el consumo de materias primas para la producción de bioetanol. 2007	71
Gráfico 9.1.3.4:	Participación de materias primas en la producción mundial de bioetanol. 2007	72
Gráfico 9.1.3.5:	Consumo por bloques regionales de materias primas para la producción de biodiesel	72
Gráfico 9.2.2.2:	Composición de la producción sudamericana de materias primas utilizables para producir bioetanol	80
Gráfico 9.2.2.3:	Participación de los países en la producción de materias primas utilizables para la elaboración de bioetanol	80
Gráfico 9.2.2.3:	Participación de los países en la producción de materias primas utilizables para la elaboración de bioetanol	80
Gráfico 9.2.2.5:	Caña de azúcar – participación en la producción por países	82
Gráfico 9.2.2.6:	Evolución del área sembrada y la producción de caña de azúcar en Brasil	83
Gráfico 9.2.2.9:	Composición de la producción Sudamérica de cereales. 2007.	89
Gráfico 9.2.2.10:	Cereales: participación en la producción por países	89
Gráfico 9.2.2.12:	Maíz: participación en la producción por países	90
Gráfico 9.2.2.14:	Sorgo – participación en la producción por países	95
Gráfico 9.2.2.16:	Mandioca – participación en la producción por países	98
Gráfico 9.2.2.19:	Superficie total de bosques plantados y tasa anual de plantación en América del Sur	112
Gráfico 9.2.3.3:	Composición de la producción sudamericana de semillas y frutos oleaginosos	117

Gráfico 9.2.3.5:	Composición de la producción sudamericana de aceites vegetales	118
Gráfico 9.2.3.6:	Participación de los países en la producción de oleaginosas. 2007	118
Gráfico 9.2.3.7:	Participación de los países en la producción de aceites vegetales. 2007	119
Gráfico 9.2.3.9:	Soja, participación en la producción por países	121
Gráfico 9.2.3.10:	Aceite de soja, participación en la producción por países	121
Gráfico 9.2.3.11:	Soja, área sembrada y producción en Brasil y Argentina 1990-2007	122
Gráfico 9.2.3.14:	Palma, participación en la producción por países	128
Gráfico 9.2.3.15:	Aceite de palma, participación en la producción por países	128
Gráfico 9.2.3.18:	Colza, participación en la producción por países	135
Gráfico 9.2.3.19:	Aceite de colza, participación en la producción por países	136
Gráfico 9.2.3.21:	Ricino, participación en la producción por países	142
Gráfico 9.2.3.25:	Girasol-participación en la producción por países. 2007	154
Gráfico 9.2.3.26:	Aceite de girasol-participación en la producción por países. 2007	154
Gráfico 9.3.2.2:	Áreas silvestres protegidas de países de América del Sur (Categorías I-VI según clasificación de UICN) en proporción a las superficies nacionales. 2003	169
Gráfico 9.3.2.7:	Recursos hídricos renovables y extracción de agua proyectada a 2030	179

RESUMEN EJECUTIVO

El presente manual fue elaborado conjuntamente por ARPEL e IICA con el objetivo de documentar las mejores prácticas de implementación de programas de producción y uso de biocombustibles en base a la experiencia, las dificultades, y los éxitos alcanzados por los diferentes países de la región y otros. Contempla todos los aspectos que hacen a una producción sostenible de biodiesel, así como también muchos de los aspectos relacionados con el alcohol biocarburante, considerando toda la cadena productiva, desde la etapa agrícola hasta su distribución al consumidor final inclusive. El manual está dividido en dos secciones: la sección 1 – elaborada por ARPEL - abarca toda la cadena productiva posterior a la etapa agrícola; y la sección 2 – elaborada por IICA - comprende exclusivamente la etapa agrícola.

En la sección 1, en primer lugar se establecen desde los diferentes puntos de vista o enfoques de la industria petrolera, de forma objetiva, los argumentos para que un país o empresa tome la decisión de emprender proyectos de biocombustibles o decida entrar a este mercado.

Seguidamente, se describen varios aspectos específicos de la producción y el manejo del biodiesel. Con base en sus especificaciones, las materias primas y tecnologías disponibles para su producción, el estado del parque automotor y las condiciones climatológicas propias de la región, se analizan varios aspectos técnicos de la producción de biodiesel. Luego se describen las precauciones, infraestructura necesaria, y todos los aspectos logísticos involucrados en su manejo en forma pura o mezclado, y se brindan algunas pautas generales para el manejo limpio y seguro del biodiesel y sus materias primas y subproductos. También se consideran los aspectos económicos de la producción del biodiesel ya que, si bien los costos y las inversiones necesarias tienen una fuerte dependencia del entorno local y el nivel específico de participación de la industria en el negocio del biodiesel, es posible indicar de forma estimada los ordenes de magnitud de dichos costos e inversiones, y existen ciertos lineamientos conceptuales generales que se deben tener en cuenta al momento de ingresar en dicho negocio. Estos mismos aspectos desarrollados específicamente para biodiesel, se desarrollarán también específicamente para etanol en una etapa posterior y se adjuntarán como anexos a este manual.

A continuación se refieren y analizan las legislaciones vigentes sobre biocombustibles en América Latina y el Caribe, pretendiendo que sirvan de guía para aquellos países y empresas que quieren ingresar a este mercado. Finalizando la sección 1, el manual también presenta 2 experiencias específicas relacionadas con los biocombustibles, y pretende ser el puntapié inicial para un futuro intercambio virtual a través del Portal de ARPEL sobre lecciones aprendidas, casos de estudio, pruebas de campo de desempeño de vehículos, eventos no exitosos y razones de los mismos.

La sección 2 “Upstream”, se concentra en el eslabón agrícola de la cadena de biocombustibles, desde una perspectiva global y regional, comprendiendo esta última a los países del Cono Sur (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay) y de la Región Andina (Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela). Esta sección presenta un panorama general del proceso de configuración de la cadena mundial de biocombustibles y un detallado análisis de un grupo seleccionado de materias primas, considerando las particularidades y potencialidades de sus producciones en los diferentes países de la región, como así también las ventajas, oportunidades y limitantes de su utilización en la producción de biodiesel y bioetanol. Esta sección también aborda tres temas críticos relacionados con el desarrollo sostenible de los biocombustibles y sus particularidades en la región: la disyuntiva entre producción de alimentos y producción de biocombustibles; la sustentabilidad ambiental de la agricultura y los biocombustibles; y la consideración de los biocombustibles desde una perspectiva social.

1 Razones para impulsar o no a los biocombustibles

En los últimos años, más que en ningún otro momento de la Historia, el mundo se está enfrentando a situaciones que requieren decisiones globales y que de alguna manera marcarán el futuro. Por la globalización, cualquier decisión en una región del globo afectará a todo el mundo. Una serie de problemas como: la pobreza no resuelta, la alimentación, la agricultura y la seguridad alimentaria, el cambio climático, etc. con la actual crisis financiera en Estados Unidos y sus repercusiones globales seguramente tendrán soluciones demoradas.

El biocombustible apareció como una solución para varios de estos problemas, especialmente para la reducción de gases de efecto invernadero, para el desarrollo de las economías agrícolas regionales y para la independencia de la economía en base a combustibles fósiles. Los países y organismos comenzaron a regular el uso obligatorio de los mismos en ciertos porcentajes y otorgando subsidios para su producción, sin embargo, están apareciendo a nivel mundial varias preocupaciones sobre la real sustentabilidad de su producción cuando se analiza su ciclo de vida completo, especialmente cuando se considera el cambio del uso de la tierra. Se están desarrollando en el mundo científico una serie de estudios que están arrojando diferentes resultados en base a que se están usando distintas bases y procedimientos de cálculo y además se está regulando que los biocombustibles sean sustentables. En consecuencia, muchos organismos están tratando de estandarizar los criterios y mecanismos para los cálculos de emisiones correspondientes que confirmarían o no estas presunciones y definirían un requerimiento de producción sostenible que ya se está gestando en países europeos. Desde ARPEL apoyamos estos esfuerzos de estandarización.

En este marco, a pesar de que la producción de biocombustibles sigue siendo reducida en el contexto de la demanda total de energía, deben reconocerse las posibles implicaciones medioambientales y sociales de su continuo crecimiento. La producción agrícola provoca en general ciertos efectos negativos inesperados en la tierra, el agua y la biodiversidad que resultan especialmente preocupantes en relación con los biocombustibles. El aumento de la producción agrícola, en caso de apoyarse en procesos no sustentables de expansión de la frontera agropecuaria - basados en la deforestación y/o el avance de los monocultivos a gran escala - o en procesos de intensificación utilizando prácticas de la denominada agricultura convencional, provocaría en general efectos negativos en la tierra, el aire, el agua y la biodiversidad. Todo ello realza la importancia y la necesidad del desarrollo y perfeccionamiento de instrumentos como el ordenamiento territorial o la zonificación económica-ecológica, como así también de la implementación de buenas prácticas agrícolas (agricultura de conservación), elementos fundamentales para atenuar las externalidades negativas de la producción de biocombustibles. En capítulos subsiguientes del presente manual se examinan las repercusiones de los biocombustibles sobre el medio ambiente.

Con base en la información disponible en la literatura no se infiere que los biocombustibles por sí mismos puedan ser alternativa total a la crisis energética que afrontará el mundo con el descenso previsible del petróleo, pero sí que la humanidad ha redescubierto una alternativa energética renovable que puede responder parcialmente por parte de los requerimientos de energía que deben ser paulatinamente sustituidos.

Tampoco la información científica disponible nos dice de manera inequívoca que el balance energético de los biocombustibles sea neutro o positivo, pero si muestra las mayores o menores bondades que a este respecto tiene los diferentes cultivos energéticos y las mejores técnicas productivas para elevar tal balance energético.

En el campo de la seguridad alimentaria, y no obstante las reiteradas manifestaciones que asocian los biocombustibles con la actual escasez relativa y la carestía de ciertos bienes agrícolas básicos, no es del todo concluyente que la misma se deba como causa primordial al surgimiento comercial reciente de los



biocombustibles, o que la tendencia inevitable sea la de contraponer biocombustibles a seguridad alimentaria mundial. Adicionalmente, la previsible producción de biocombustibles de segunda generación a base de celulosa, terminaría así fuera de manera parcial en sus comienzos, con el riesgo de competencia entre alimentos y biocombustibles.

Lo que resulta evidente es que en todos los anteriores campos, y en otros asociados, la ciencia, la academia, la industria, y los responsables de las políticas públicas deben seguir avanzando en sus indagaciones y estudios, preferiblemente de manera mancomunada, interinstitucional e interdisciplinaria, porque aún no se ha dicho la última palabra tanto en los temas técnicos como económicos y de sostenibilidad ambiental.

Ante esta situación será necesario que la industria petrolera en América Latina y el Caribe se mantenga atenta a todos estos cambios durante las planificaciones en el negocio de los biocombustibles.



SECCIÓN 1: DOWNSTREAM

2 Aspectos técnicos del biodiesel

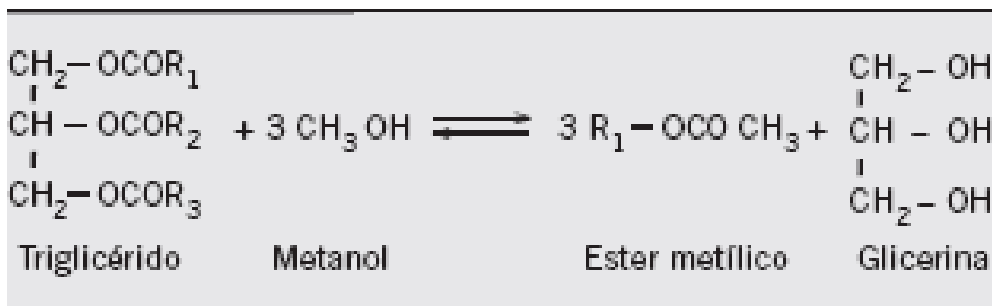
2.1 Aspectos Generales

2.1.1 Proceso para la obtención de biodiesel

La materia prima utilizada para el proceso de fabricación del biodiesel es muy variada (distintos tipos de aceites vegetales y grasas animales, aceites reciclados, etc.), haciendo que el resultado de la reacción química correspondiente sea una multiplicidad de ésteres de ácidos grasos distintos, en proporciones muy variables, todos ellos denominados biodiesel.

La reacción química que mejores resultados ha demostrado tener para obtener biodiesel es la transesterificación. Esta consiste en la reacción entre un triglicérido (compuesto por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos), contenido en el aceite vegetal o grasa animal y un alcohol ligero (metanol o etanol), obteniéndose como productos glicerina y ésteres derivados de los tres ácidos grasos de partida, es decir, biodiesel. En general se suele usar metanol como alcohol de sustitución, en cuyo caso el biodiesel estará compuesto por ésteres metílicos.

Figura 2.1.1.1: Esquema de la reacción de transesterificación con metanol



Fuente: Informes ISF 2. Producción de Biodiesel. Aplicación a países en desarrollo. 2007

Aunque el metanol tiene, respecto del etanol, mayores restricciones ambientales y de manipuleo, existe una mayor tendencia a su uso, por las siguientes razones:

1. Su menor precio
2. Tecnología disponible y madura
3. Menor complejidad en el proceso
4. Separación menos dificultosa de la mezcla alcohol/agua
5. Menor volumen de alcohol que recircula

Aunque el etanol tiene la ventaja de ser materia prima de fuente renovable, su posible utilización, en un futuro, en reemplazo del metanol, requerirá necesariamente del desarrollo de tecnología para obtener un proceso eficiente y competitivo en costos.

2.1.2 Materias primas para la producción de biodiesel

Si bien se puede obtener biodiesel a partir de grasa animal y aceite de fritura usado, la materia prima más abundante son los aceites vegetales. Las dos etapas necesarias para la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales, son:

1. La conversión de la materia prima en aceite vegetal
2. Su transformación química en éster.

Entre los principales aceites vegetales usados se encuentran los de colza, palma, soya, girasol, jatropha, semilla de algodón, canola, grasas animales y aceites usados.

La investigación en materias primas es liderada principalmente por Estados Unidos, China, Japón, India, Alemania y Turquía, que trabajan primordialmente en soya, colza, girasol y palma. Se observa una estrecha relación entre la disponibilidad de materia prima y la publicación de artículos científicos ya que cada país investiga principalmente sobre la materia prima que tiene disponible. También se consideran materias primas de importancia a las grasas animales, los aceite de cocina y, tal vez el más promisorio sea, el jatropha Curcas.

Por cuanto los aceites vegetales representan del 60 al 75% del costo final del biodiesel, se investiga permanentemente en busca de materias primas de menor costo, tales como las grasas animales y aceite de cocina usado. El otro factor importante es el requerimiento de tierras de cultivo, que es la fuente de cada tipo de materia prima. En este sentido tendría cierta ventaja la jatropha Curcas, que es adaptable a terrenos marginales improductivos, por lo que no desplazaría a los cultivos alimenticios.

La Asociación Mundial de Soya (United Soybean Board, 2005) realizó un estudio donde evaluaba los precios, los incentivos, las demandas y las regulaciones en torno a los principales aceites usados para producir biodiesel, tomando como referencia cuatro principales regiones: Estados Unidos, Unión Europea, Brasil y Otros, este último compuesto por Malasia, India, Taiwán, Colombia, Filipinas, Ecuador e investigaciones contempladas en Indonesia, Australia y Sudáfrica. Como consecuencia de este estudio, el cuadro a continuación muestra el pronóstico de producción de las tres principales materias primas (soya, palma y colza).

Tabla 2.1.2.1: Pronóstico de los principales aceites usados para producción de biodiesel
(en 1.000 toneladas métricas)

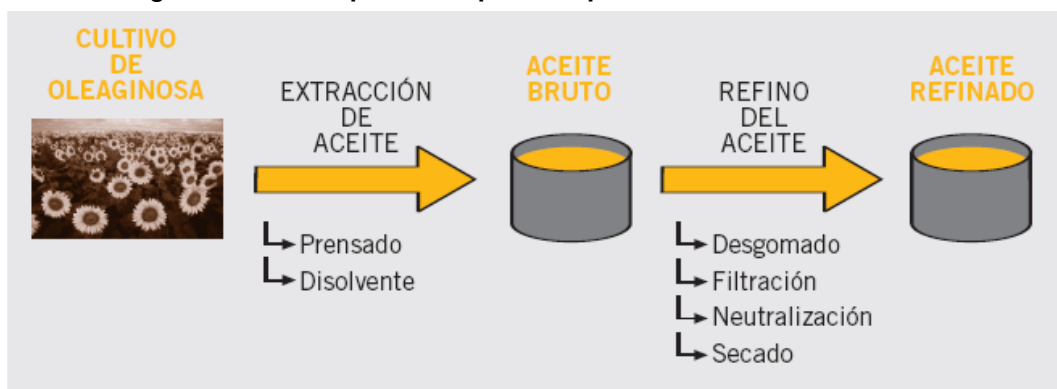
REGIONES	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Unión Europea	375	475	875	1375	2000	3200	4860	5440	5970	6500	6750	7000
Colza	350	450	800	1200	1700	2500	3200	3350	3600	3850	3850	3850
Palma			50	100	200	500	1000	1200	1300	1400	1500	1600
Soya				25	50	100	500	700	850	1000	1150	1300
Otros	25	25	25	50	50	100	160	190	220	250	250	250
E.E.U.U	10	20	40	85	125	250	1155	1400	1700	2000	2300	2600
Colza							250	300	300	300	300	300
Palma							75	100	150	200	250	300
Soya	5	15	35	75	115	225	750	900	1100	1300	1500	1700
Otros	5	5	5	10	10	25	80	100	150	200	250	300
Brasil				10	15	45	400	550	650	750	825	900
Palma							50	75	100	135	150	165
Soya				5	5	25	300	400	450	500	550	600
Otros				5	10	20	50	75	100	115	125	135
Otros Países				25	50	100	425	600	775	900	1000	1100
Colza							25	50	75	100	100	100
Palma				10	20	50	300	400	500	550	600	650
Soya				5	10	20	50	75	100	125	150	175
Otros				10	20	30	50	75	100	125	150	175
Total	385	495	915	1495	2190	3485	6690	7840	8895	9950	10875	11600
Colza	350	450	800	1200	1700	2500	3475	3700	3975	4250	4250	4250
Palma	0	0	50	110	220	550	1425	1775	2050	2285	2500	2715
Soya	5	15	35	110	180	260	1450	1925	2300	2725	3350	3775
Otros	30	30	30	75	90	175	340	440	570	690	775	860

Fuente: Asociación Mundial de Soya (2005)

2.1.2.1 Conversión de la materia prima en aceite vegetal

El aceite utilizado para la fabricación del biodiesel por transesterificación debe presentar unas características determinadas para que el biocombustible final cumpla con las especificaciones deseadas. Así, el aceite bruto es sometido generalmente a desgomado, filtración, neutralización y secado, cuyos procedimientos dependen de la naturaleza del aceite bruto, obteniéndose un aceite refinado sin sólidos en suspensión y con un mínimo de acidez (<1%) y de humedad (<0,5%) aptos para su transesterificación en biodiesel.

Figura 2.1.2.2: Esquema del proceso productivo del aceite refinado



Fuente: Informes ISF 2. Producción de Biodiesel. Aplicación a países en desarrollo. 2007

2.1.2.2 Transformación química de los aceites en ésteres

Una vez obtenido el aceite refinado generalmente se lo hace reaccionar con un alcohol monovalente como el metanol, en presencia de un catalizador básico (condiciones de presión y temperatura menos exigentes).

Estequiométricamente, el rendimiento másico de la reacción es aproximadamente igual a uno, por lo que se obtiene la misma masa de biodiesel que de aceite vegetal inicial. Además la estequiometría entre el alcohol y la glicerina es similar en términos másicos, requiriéndose en principio una cantidad de alcohol igual al 10% del aceite (en masa).

Figura 2.1.2.3: Balance de masa de la reacción de transesterificación

Triglicérido	+	3 Alcohol	→	3 Ester	+	Glicerina
- Aceites				- Metanol		
- Grasas				- Etanol		
100 kg		10 kg		100 kg		10 kg

Fuente: Informes ISF 2. Producción de Biodiesel. Aplicación a países en desarrollo. 2007

Las etapas necesarias para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales ya refinados, son las siguientes: reacción de transesterificación propiamente dicha; y separación y purificación de los ésteres obtenidos.

La reacción de transesterificación se efectúa entre los triglicéridos del aceite y un exceso de metanol, generalmente en presencia de un catalizador básico (más comúnmente hidróxido de sodio o metilato de sodio) a una temperatura que suele variar entre 40 °C y 110 °C. Durante la reacción de transesterificación se presentan reacciones secundarias que dan lugar a productos indeseables que contaminan los ésteres. Estos productos no deseados, los jabones, disminuyen la conversión y el rendimiento de la reacción, y harán necesarias etapas posteriores de purificación.

Figura 2.1.2.4: Esquema del proceso de transesterificación. Reactivos y productos

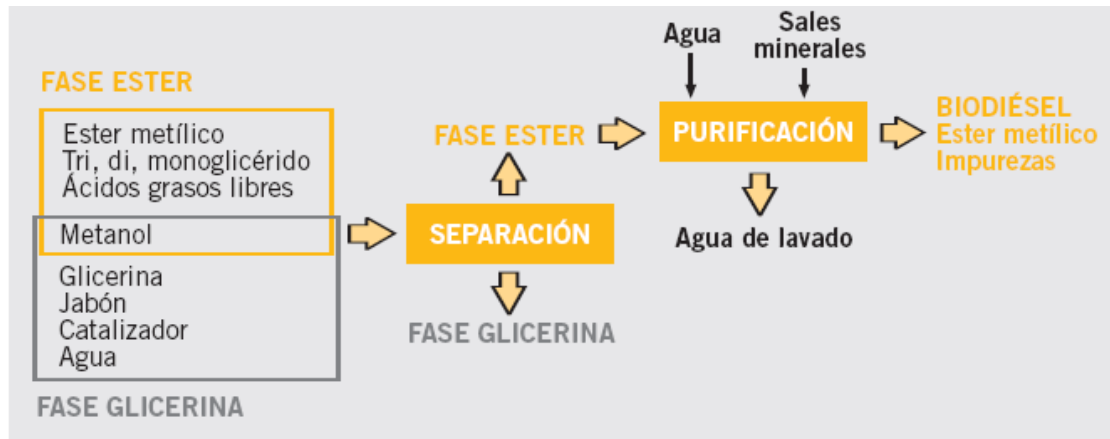


Fuente: Informes ISF 2. Producción de Biodiesel. Aplicación a países en desarrollo. 2007

La siguiente etapa fundamental en el proceso de fabricación de biodiesel es la separación de las fases éster y glicerina y la posterior purificación de las mismas.

Al término de la reacción de transesterificación son varios los subproductos que se encuentran en el reactor, y que habrá que separar de los ésteres metílicos o biodiesel. Además de los compuestos del aceite que no han llegado a reaccionar (tri, di, monoglicéridos y ácidos grasos libres) se encuentra en el medio el metanol que se adicionó en exceso, los restos del catalizador básico y los productos de las reacciones secundarias (jabón y agua).

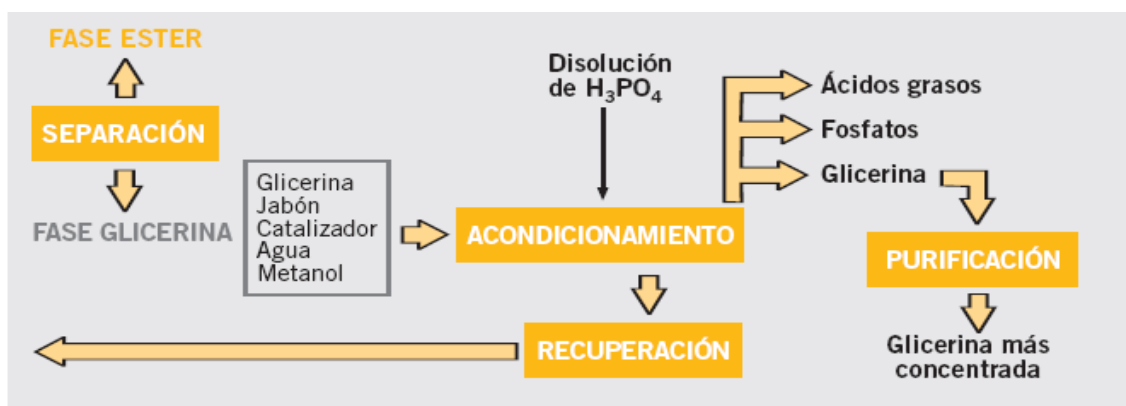
Figura 2.1.2.5: Esquema de los procesos de separación y purificación del biodiesel



Fuente: Informes ISF 2. Producción de Biodiesel. Aplicación a países en desarrollo. 2007

El último proceso para la obtención del biodiesel es la purificación de los ésteres. Aquí se separa y recupera el exceso de alcohol introducido para mejorar el rendimiento, y se lavan los ácidos grasos libres y los mono, di y triglicéridos que no se han esterificado. La fase glicerina también deberá ser purificada para obtener un producto que se pueda comercializar.

Figura 2.1.2.6: Esquema del proceso de acondicionamiento de la fase glicerina



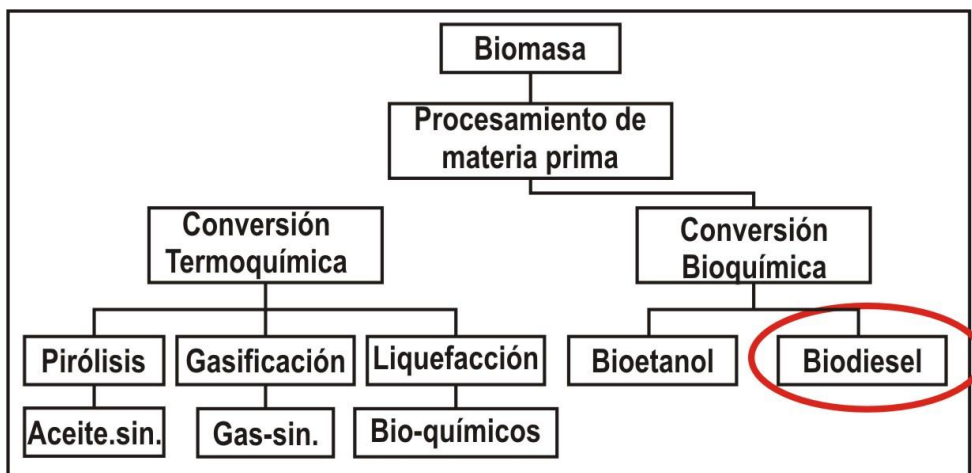
Fuente: Informes ISF 2. Producción de Biodiesel. Aplicación a países en desarrollo. 2007

2.1.3 Factores que influyen en el proceso de producción

En la sección anterior únicamente se hace referencia a la obtención del biodiesel por transesterificación con catálisis básica, que es la forma más común de obtenerlo. Sin embargo, el proceso de producción del

biodiesel se puede enmarcar dentro de la secuencia general de tratamiento de la biomasa, que se efectúa mediante el empleo de dos tipos de procesos de conversión genéricos que son el termoquímico y el bioquímico, los que se representan simplídicamente en el siguiente diagrama.

Figura 2.1.3.1: Proceso de producción de biodiesel



Fuente: "Informe de Vigilancia Tecnológica" COLCIENCIAS Colombia.

Como ya se indicó, el biodiesel se produce principalmente mediante el proceso de transesterificación, que está considerado como un proceso de conversión bioquímica, y su materia prima está constituida mayormente por aceites vegetales, representados como biomasa en el diagrama anterior.

La transesterificación se puede dar por catálisis alcalina, catálisis ácida, catálisis de lipasas y alcoholes en condiciones supercríticas. Las vías más utilizadas son la catálisis alcalina y la catálisis ácida. En el cuadro a continuación se resumen las ventajas y desventajas de los principales procesos de producción de biodiesel por transesterificación.

Tabla 2.1.3.2: Ventajas y desventajas de las principales vías de transesterificación de biodiesel

	Ventajas	Desventajas	Características de la transesterificación
Catálisis alcalina	<ul style="list-style-type: none"> • Es la tecnología más utilizada comercialmente • Condiciones moderadas de presión y temperatura • Se obtienen conversiones en tiempos de reacción de 60 min. aprox. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere que el aceite y el alcohol sean anhídrido y limitar el contenido de ácidos grasos libres en la alimentación para evitar la formación de jabones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad apreciable de operaciones unitarias para la separación de los productos. • Reacción en condiciones atmosféricas • Requiere catalizador alcalino.
Catálisis ácida	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza en la adecuación del aceite (esterificación de los ácidos grasos libres con metanol). • Puede procesar materias primas con altos niveles de ácidos grasos libres (grasas animales y aceites usados). 	<ul style="list-style-type: none"> • Los tiempos de reacción son mucho más lentos en comparación con la catálisis alcalina. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza como un proceso de pre-esterificación antes de realizar dicho proceso vía la catálisis alcalina. • Requiere uso de catalizador ácido.

	Ventajas	Desventajas	Características de la transesterificación
Catálisis de lipasas	<ul style="list-style-type: none"> La reacción no es afectada por la presencia de agua en las materias primas ni por contenidos de ácidos libres. 	<ul style="list-style-type: none"> Los tiempos de reacción son elevados, por lo que no pueden ser procesos continuos. 	<ul style="list-style-type: none"> Se usan solventes orgánicos como medio de reacción, porque mejoran la reactividad y brindan la posibilidad de reutilización. El alcohol se adiciona por etapas, para evitar la inhibición.
Alcoholes supercríticos	<ul style="list-style-type: none"> Bajos tiempos de reacción Se pueden procesar materias primas con altos contenidos de ácidos grasos libres y agua No es necesaria la utilización de un catalizador. 	<ul style="list-style-type: none"> Altos costos debidos a las condiciones de la reacción a altas temperaturas y presiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Se emplean temperaturas y presiones elevadas.

Fuente: Informe de Vigilancia Tecnológica- COLCIENCIAS- Colombia

Adicionalmente, cabe destacar que ya hay en el mercado procesos que utilizan la catálisis heterogénea. A pesar de que estos catalizadores requieren unas condiciones de presión y temperatura más severas respecto de la catálisis homogénea, ofrecen otras ventajas, fundamentalmente: mayor conversión, glicerina de mejor calidad, etapas de separación y purificación simples, sin consumo de productos químicos y sin producción de otras fases. Recientemente se encuentra en desarrollo la pirólisis como una alternativa interesante y su uso masivo estará en función de los menores costos de procesamiento.

Del cuadro se puede deducir que existe cierta relación entre la materia prima disponible y la vía a emplear para el proceso de transesterificación, tal es así que los autores *Marchetti* y *Demirbas* indican que si bien las grasas animales y los aceites de cocina usados son materias primas de menor costo, presentan el problema de un alto contenido de ácidos grasos que no pueden ser convertidos a biodiesel a través de un catalizador alcalino. Según estos mismos autores, para el empleo de la vía de **catálisis alcalina**, los aceites usados podrían provenir de cualquier vegetal, tal como el maíz, canola, cacahuete, girasol, aceituna, o palma. Para la **catálisis ácida**, el tipo de alcohol y los aceites son los mismos que para la catálisis alcalina; la **catálisis de lipasa** es aplicable para aceites vegetales y animales; mientras que para la vía del **alcohol supercrítico** no definen materia prima específica.

Hay dos factores importantes que influyen en el proceso de producción del biodiesel: el tipo de catalizador y el tipo de proceso (discontinuo, semi-continuo, y continuo). Los tipos de catalizadores ya se mostraron en el cuadro anterior. Respecto al tipo de proceso, se distinguen el proceso discontinuo, el semi-continuo y el continuo. Evidentemente para pequeñas producciones el proceso discontinuo (por lotes) es el más indicado, además es más flexible para el procesamiento de materia prima multi-oleaginosa. Por el contrario, para grandes producciones (>50.000 tm/año) se suele utilizar el proceso continuo porque es más económico, aunque acarrea mayores dificultades técnicas de operación y puesta en marcha. Otro factor determinante, además del tamaño de la producción, es la disponibilidad y calidad de la materia prima, de tal manera que la operación continua es más conveniente para alimentaciones de materia prima con una determinada calidad asegurada.

2.1.4 Especificación de biodiesel

Especificaciones para biodiesel han sido implementadas en varios países alrededor del mundo, en EE.UU. se ha adoptado la norma ASTM D 6751, en Europa la EN 14214, y en Brasil la ANP N° 7/08. Estos estándares han surgido del consenso de grupos relevantes que han participado en su elaboración, como ser: fabricantes de vehículos, motores y equipos de inyección, compañías refinadoras, productores de biocombustibles, representantes de los gobiernos y de los usuarios de biocombustibles.

No todas las normas especifican valores para las mismas propiedades. El Anexo 1 muestra las especificaciones del biodiesel según las normas anteriormente mencionadas, y otras normas referentes a nivel regional.

La especificación ASTM define al biodiesel como un combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivado de aceites vegetales o grasas animales. Aceites vegetales y grasas animales que no han sido procesados no cumplen con las especificaciones para biodiesel. Además, la especificación ASTM es para el biodiesel que será utilizado para mezcla con diesel de origen fósil en proporción de 20% o menos, y no se la debe considerar como especificación de biodiesel puro (B100) que pueda ser comercializado como combustible en sí mismo. En EE.UU. cualquier biodiesel utilizado para mezcla deberá cumplir con la ASTM D 6751 previo a la mezcla.

La norma europea EN 14214, establece la especificación de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para motores diesel. En contraste con la ASTM D 6751, el B100 que cumple con este estándar podría ser utilizado puro en un motor diesel (si el motor ha sido adaptado para operar con B100) o mezclado con el diesel, para producir una mezcla que cumpla con la EN 590, que es la especificación europea para el diesel. Mezclas de hasta un 5% de FAME (B5) son permitidas y la mezcla resultante se la considera como un diesel normal definido por la EN 590 sin requerir aclaraciones especiales en los surtidores de las estaciones de servicio. La EN 14214 es más restrictiva y aplica solo al biodiesel que se produce con metanol. También exige un contenido mínimo de ésteres de 96,5% y no permite el agregado de otros componentes distintos a los ésteres metílicos de ácidos grasos, salvo los aditivos.

La norma europea EN 14214, presenta un mayor nivel de exigencia en calidad del biodiesel que la norma estadounidense ASTM D 6751, lo cual se manifiesta principalmente en los niveles de control fijados para la acidez, estabilidad a la oxidación, número de cetano, y contenido de ciertos subproductos de la reacción de transesterificación, tales como los metil-ésteres y glicéridos. Asimismo, incluye el control del metanol remanente del proceso de producción y un rango más estrecho de viscosidad.

Probablemente esta mayor exigencia de la norma europea está asociada principalmente a la concepción de usar el Biodiesel B100 puro en ciertos motores acondicionados para tal fin, mientras que la norma estadounidense considera su empleo únicamente en mezcla con diesel de petróleo.

En la tabla a continuación se describen el propósito y la importancia de las propiedades del biodiesel, así como los efectos ocasionados por desviaciones respecto a los límites especificados.

Tabla 2.1.4.1: Límites de especificación en el biodiesel: propósito, importancia y efectos de su desviación

Propiedad	Propósito / importancia / efectos posibles de la desviación de especificación
Contenido de éster (min.)	Valores inferiores a la especificación indican reacción incompleta/presencia de aceite. Provocará alta viscosidad, disminución del efecto spray, aumento de carbonilla, combustión deficiente.
Densidad (15°C)	Depende del aceite de partida y proceso de transesterificación. Un valor bajo indica excesivo resto de alcohol.
Viscosidad (40°C)	Satisfactoria combustión del combustible. El valor de la viscosidad debe ser del mismo nivel del diesel convencional. Se deben evitar valores mayores de viscosidad que el diesel, sin embargo, una viscosidad tendiendo al valor más bajo del rango de la especificación puede resultar ventajosa para motores que requieran menor potencia en la bomba de inyección y en la salida de los inyectores. Bajos valores indican exceso de metanol. Altos valores indican degradación térmica y oxidativa, presencia de aceite sin reaccionar y pueden provocar problemas en los inyectores y sistema de bombeo. Acorta la vida del motor.
Punto de inflamación (min.)	Seguridad contra incendios. Se utiliza como mecanismo para limitar el nivel del alcohol sin reaccionar que permanece en el biodiesel terminado. Normalmente, el punto de inflamación del biodiesel es mayor que el del diesel. Un bajo valor puede provocar problemas en el manipuleo, transporte y almacenamiento
Azufre	Proteger el sistema catalítico del escape. El biodiesel generalmente contiene menos de 15 ppm de azufre. Se recomienda utilizar el método de ensayo ASTM D 5453 con el biodiesel. El uso de otros métodos de ensayo puede dar resultados erróneos al analizar B100 con niveles de azufre extremadamente bajos (menos de 5 mg/Kg.). Un valor alto indicaría contaminación del biodiesel y provocaría mayores emisiones de SO ₂
Número de Cetano (min.)	Buen desempeño del motor, es una medida de la calidad de ignición del combustible y del proceso de combustión. Los requerimientos de número de cetano dependen del tamaño y diseño del motor, de la naturaleza de las variaciones de velocidad y carga, y de las condiciones atmosféricas. Depende de la materia prima y nivel de oxidación del biodiesel. Un bajo valor indica poca tendencia a la auto-ignición y provocaría mayor cantidad de depósitos en el motor y mayor desgaste en los pistones.
Contenido de agua	Un exceso de agua en el biodiesel puede ocasionar problemas de hidrólisis (aparición de ácidos grasos libres).
Agua y sedimentos	Prevenir corrosión y proliferación de organismos. Establecido al mismo nivel del diesel convencional. Un exceso de agua puede causar corrosión y proveer un ambiente propicio para la proliferación de microorganismos. La oxidación puede incrementar el nivel de sedimentos: por lo tanto este análisis debe ser usado con el de número ácido y viscosidad para determinar que tanto se oxidó el combustible durante su almacenamiento. Un exceso de agua puede ocasionar problemas de hidrólisis (aparición de ácidos grasos libres). La presencia de sedimentos/contaminación depende de insaponificables en la materia prima y proceso de producción. Un alto valor indica presencia de insaponificables, jabones e impurezas mecánicas. Los primeros dejan residuos en el motor porque tienen mayor punto de evaporación, los jabones dan lugar a cenizas sulfatadas, y las impurezas mecánicas obstruyen filtros.
Corrosión a la lámina de cobre	Indica dificultades con componentes de bronce, latón o cobre de los vehículos. La presencia de ácidos o de compuestos con azufre puede deteriorar la lámina de cobre, indicando así la posibilidad de ataque corrosivo. Altos valores provocarían problemas de corrosión durante el almacenamiento y en el motor.
Metanol	Depende exclusivamente del proceso de producción. Restos de metanol provocan baja temperatura de inflamación, viscosidad y densidad, y corrosión en piezas de aluminio y zinc.

Propiedad	Propósito / importancia / efectos posibles de la desviación de especificación
Glicerina libre	Buen desempeño a bajas temperaturas. La glicerina total comprende la glicerina libre y la porción de glicerina de aceite o de grasa sin reaccionar o que ha reaccionado parcialmente. Niveles bajos de glicerina total aseguran una alta conversión del aceite o de la grasa hacia sus mono-alkil-ésteres. La cantidad de glicerina libre depende del proceso de producción.
Glicerina total	Un valor alto indica una mala decantación y lavado del biodiesel, y provoca incremento en las emisiones de aldehídos y acroleína. Altos niveles de mono-, di-, y triglicéridos y de glicerina libre pueden causar depósitos en los inyectores y afectar adversamente la operación en climas fríos causando taponamiento de filtros.
Índice / nº de iodo	Depende exclusivamente de la materia prima y cuantifica el grado de insaturación. Altos valores indican gran presencia de dobles enlaces que favorecen los procesos de polimerización e hidrólisis.
Índice de acidez	Protege el motor. Se utiliza para determinar el nivel de ácidos grasos libres o ácidos de proceso que puedan estar presentes en el biodiesel. Un alto número ácido puede ocasionar aumento en la degradación del biodiesel, aumentar la formación de depósitos en los sistemas de inyección y la probabilidad de corrosión.
Metales alcalinos (Na+K) y del Grupo II (Ca+Mg)	Su presencia depende del proceso de producción. Los metales provocan depósitos y catalizan reacciones de polimerización. Valores altos de (Na + K) indican restos de catalizador. Valores altos de (Ca + Mg) indican presencia de jabones insolubles.
Cold soak filterability	Determinar, mediante el tiempo de filtración luego de un tratamiento a baja temperatura, la adecuada operabilidad en frío del B100 para ser mezclado con diesel, como mínimo en el punto de nube. Algunas sustancias que son solubles o aparentemente solubles en biodiesel a temperatura ambiente, bajo enfriamiento o estadía prolongada a temperatura ambiente, se separan de la solución. Estas sustancias pueden causar taponamiento de filtros. Este método de ensayo proporciona un medio acelerado para medir la tendencia de estas sustancias a taponar los filtros. A elevados valores de tiempo de filtración, mayor probabilidad de taponamiento de filtros y problemas de operabilidad a bajas temperaturas.
Contaminación total	Ídem sedimentos en "Agua y Sedimentos"
Residuo carbonoso	Protege el motor. Mide la tendencia a la formación de depósitos de carbón generado por un destilado de petróleo; aunque no tenga una estricta correlación directa con los depósitos en el motor, esta propiedad se considera simplemente como una aproximación al respecto. Depende exclusivamente del proceso de transesterificación. Un valor elevado indica alto contenido de glicéridos, presencia de metales (jabones, restos de catalizador) u otras impurezas.
Cenizas sulfatadas	Satisfactoria combustión del combustible. Los materiales que forman cenizas pueden estar presentes en el biodiesel de 3 formas: (1) sólidos abrasivos, (2) jabones metálicos solubles, y (3) catalizadores no removidos. Los sólidos abrasivos y los catalizadores no removidos pueden afectar los inyectores, filtros y bomba de inyección, generar desgaste en los pistones y anillos, y depósitos en el motor. Los jabones metálicos solubles tienen poco efecto en el desgaste pero pueden afectar los empaques, contribuir al taponamiento de filtros y generar depósitos en el motor.
Estabilidad a la oxidación (a 110°C)	Su valor depende de la materia prima y proceso de producción. Se permite el uso de aditivos para mejorar este parámetro. Un bajo valor indica aceite de partida degradado, o degradación del biodiesel en el proceso. Un tiempo inferior al especificado no aseguraría la estabilidad del biodiesel durante su almacenaje y distribución.
Éster metílico -ácido linoléico	Depende de la materia prima (contenido de C18:3). Altos valores provocan bajo valor de POFF, bajo nº de cetano y alto índice de iodo.
Contenido de monoglicérido y diglicérido	Depende del proceso. Indica reacción incompleta ya que son restos de aceite que no ha terminado de reaccionar. Altos valores provocan depósitos (inyectores, cilindros) y cristalización (tienen mayor punto de fusión y baja solubilidad en biodiesel)

Propiedad	Propósito / importancia / efectos posibles de la desviación de especificación
Contenido de triglicérido	Depende del proceso. Un valor elevado indica presencia de aceite o grasa sin reaccionar. Ocasionará elevada viscosidad del biodiesel y depósito en cilindros y válvulas
Contenido de éster metílico poli-insaturado (4 o más dobles enlaces)	Depende de la materia prima (contenido de metil-éster con 4 o más dobles enlaces). Altos valores favorecen los procesos de polimerización que provocan depósitos y deterioran el aceite lubricante
Fósforo	Prevenir daños en el convertidor catalítico. El fósforo puede deteriorar los sistemas de control de emisiones y tratamiento de gases de escape, razón por la cual su contenido debe ser bajo. Contenidos elevados indicarían un mal blanqueado del aceite de partida y presencia de insaponificables.
Temperatura atm. equivalente (90% R)	Para asegurar que el biodiesel no ha sido contaminado con materiales de alto punto de ebullición, como aceites lubricantes gastados.
Punto de enturbiamiento	Buen desempeño a bajas temperaturas. Define la temperatura a la cual aparece una nube o nubosidad de cristales en el combustible, bajo condiciones de ensayo prescritas. Problemas de operación en climas fríos.
Punto de obstrucción del filtro en frío (POFF)	El valor de POFF es un indicador de los límites de operabilidad. Este valor depende de la materia prima y del proceso de producción (impurezas mecánicas).

2.1.5 Aseguramiento de la calidad por parte de los proveedores

Para asegurar el correcto funcionamiento del combustible en los vehículos, este debe cumplir con las especificaciones correspondientes que deben certificarse por parte de su proveedor. Cuando el combustible se obtiene a partir de la mezcla de dos combustibles diferentes, como es el caso de la mezcla diesel-biodiesel, existirán especificaciones de calidad para la mezcla y para los combustibles que lo componen por separado. Las empresas petroleras que compran el biodiesel para mezclarlo con el diesel que ellas produzcan deberán exigir al productor de biodiesel que cumpla con las especificaciones de calidad correspondientes.

Los grandes productores de biodiesel generalmente podrán acceder a una certificación de calidad a través de alguna entidad reconocida internacionalmente (por ej. ISO) y con un contrato de por medio puede asegurarse la calidad del biodiesel producido. Sin embargo, también puede suceder que el gobierno exija a las empresas petroleras que compran el biodiesel a pequeños productores no certificados. En este caso, el comprador debería asegurar la calidad del biodiesel realizando el mismo los controles de calidad en planta y precintando el producto controlado que luego le será entregado. Es recomendable que la empresa petrolera elabore un plan para el desarrollo de proveedores confiables, que apoye a la mejora continua de los mismos y asegure la calidad del biodiesel de forma simple y sustentable en el largo plazo.

2.1.6 Mezclas posibles garantizadas por fabricantes de motores y automóviles

En Europa algunos fabricantes permiten el uso, en ciertos vehículos, de combustibles B100 o B30 pero la mayoría de los vehículos están aprobados solo para usar diesel que cumpla con la EN 590, el cual por definición puede contener hasta un máximo de 5% de FAME en la mezcla. Los fabricantes han expresado su preocupación sobre la posibilidad de incrementar el porcentaje de mezcla de FAME hasta un 10% Vol., debido a problemas de compatibilidad de este combustible con la flota de vehículos existente y el potencial incremento en las emisiones. En EE.UU. la posición de la mayoría de los fabricantes de automóviles es que la

mezcla de biodiesel hasta un 5% (y en algunos casos hasta el 20%) es aceptable en tanto y en cuanto cumplan con la D 6751. Además, la *American Trucking Association* también ha aprobado el uso de B5. Muchas son las preocupaciones acerca de la calidad y la estabilidad de mezclas mayores que el 5%. La tabla 2.1.6.1 resume la posición de los fabricantes de motores y vehículos respecto del uso de biodiesel.

Tabla 2.1.6.1: Recomendaciones de uso de biodiesel de los fabricantes de automóviles y motores

Fabricante	Posición
Asociación de Fabricantes de Motores (EMA)	B5 aceptable si este cumple con la ASTM D 6751
Caterpillar	Muchos motores aprobados para B100; para otros solamente es aceptable B5. Este debe cumplir con ASTM D 6751
Cummins	Todos los motores aprobados para B5. Este debe cumplir con ASTM D 6751
DaimlerChrysler	B5 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir con ASTM D 6751
Detroit Diesel	B20 aprobado para todos los motores/vehículos pero este debe cumplir las especificaciones para diesel
Ford	B5 aceptable para todos los vehículos pero debe cumplir con ASTM D 6751 y EN 14214
General Motors	B5 aceptable para todos los vehículos pero debe cumplir con ASTM D 6751
Internacional Truck and Engine	B20 aceptable para todos los motores pero debe cumplir con ASTM D 6751
John Deere	B20 aceptable para todos los motores pero debe cumplir con ASTM D 6751
Volkswagen	B5 aceptable para todos los motores, pero el combustible debe tener un estándar de calidad (ASTM D 6751 o EN 14214)
Fabricantes de equipos de inyección de combustible	Posición
Bosch	B5 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir la EN 14214
Delphi	B5 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir la ASTM D 6751
Stanadyne	B20 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir la ASTM D 6751

Fuente: IFQC Biofuels Center. Ver también NBB fact sheet “Estándares y Garantías” disponible en http://77biodiesel.org/resources/fuelfactsheet/standards_and_warranties.shtm

2.1.7 Desempeño del biodiesel (B100 y otras mezclas)

El biodiesel puede ser producido comercialmente a partir de una amplia variedad de grasas y aceites vegetales:

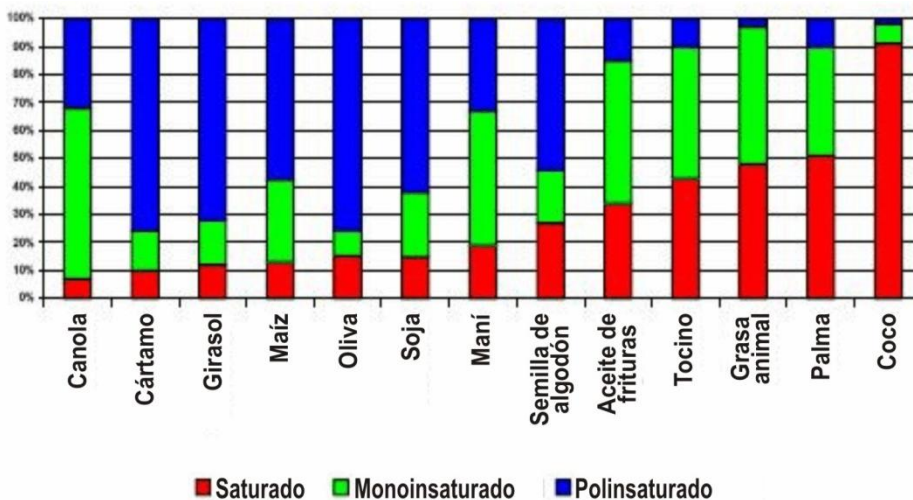
- Aceites vegetales: soja, girasol, palma, mamona, colza, jatropha curcas, maíz, etc.
- Grasas animales: sebo de vaca, sebo de búfalo
- Aceite de fritura reciclado.
- Aceites de microalgas

Las grasas animales y los aceites vegetales arriba listados están formados por los 10 tipos de ácidos grasos más comunes los cuales tienen entre 12 y 22 átomos de carbono, con un 90% de ellos de entre 16 y 18 carbonos. Algunas de estas cadenas de ácidos grasos son saturadas, mientras otras son monoinsaturadas y

otras son poliinsaturadas. Dentro de los límites de las especificaciones, los diferentes niveles de saturación pueden afectar algunas de las propiedades del biodiesel.

Lo que hace que cada una de las materias primas disponibles sea diferente de la otra, es que en su composición ellas tienen diferentes proporciones de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados (Gráfico 2.1.7.1). Un biodiesel “perfecto” debería estar formado solo de ácidos grasos monoinsaturados.

Gráfico 2.1.7.1: Composición de materias primas para biodiesel



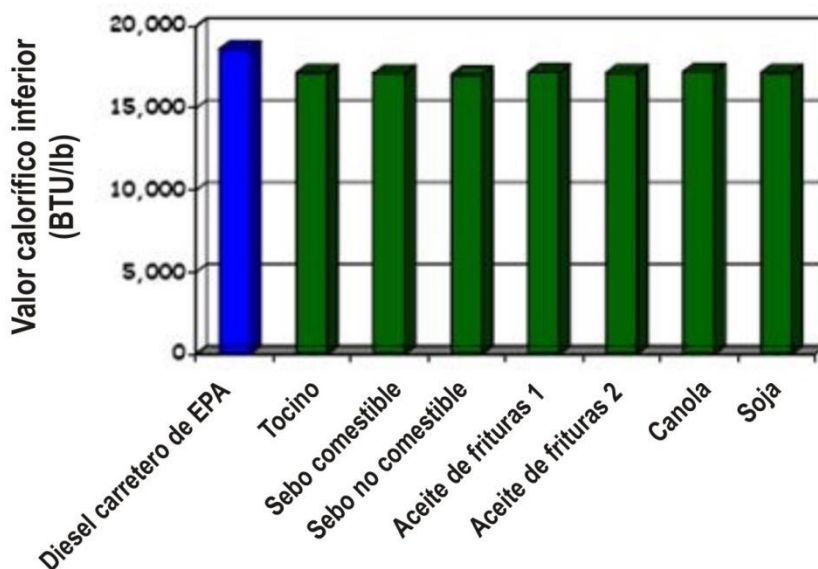
Fuente: Departamento de Energía de EE.UU. Eficiencia Energética y Energía Renovable. Biodiesel – Guía de manejo y uso.2004

Aceites con mayor proporción de ácidos grasos insaturados en su composición (girasol, soja, oliva) dan como resultado biodiesel de menor número de cetano, menor estabilidad (mayor Índice de Yodo) y menor temperatura de congelación (mejores propiedades frías). De la misma manera, aceites con mayor proporción de ácidos grasos saturados y monoinsaturados (palma, coco, grasa animal) dan como resultado un biodiesel con alto número de cetano, buena estabilidad y mayores temperaturas de congelación (peores propiedades frías).

2.1.7.1 Contenido energético del B100

El contenido energético del biodiesel o el B100 no varía significativamente respecto del diesel fósil (Gráfico 2.1.7.2). Esto se debe a que el contenido energético de las grasas y aceites utilizados en la fabricación del biodiesel no varía sustancialmente respecto al de los componentes utilizados para producir el diesel de origen fósil. Por lo tanto el B100 obtenido a partir de la mayoría de las materias primas disponibles tendrá el mismo impacto en la economía de combustible, la potencia y el torque que un diesel convencional.

Gráfico 2.1.7.2: Contenido energético del diesel y distintos biodiesel



Fuente: Departamento de Energía de EE.UU. Eficiencia Energética y Energía Renovable. Biodiesel – Guía de manejo y uso. 2004

2.1.7.2 Propiedades frías del B100

Las propiedades frías del biodiesel y del diesel convencional son extremadamente importantes. A diferencia de la gasolina, tanto el diesel fósil como el biodiesel pueden empezar a congelarse a medida que la temperatura del medio desciende. Si esto sucede, se pueden obstruir los filtros de combustible, pudiéndose llegar a la obstrucción total y al corte de suministro normal de combustible para el funcionamiento del motor. Hay tres ensayos que se utilizan para medir las propiedades frías de los combustibles para los motores diesel: Punto niebla (o de nube), punto de obstrucción del filtro en frío (POFF) y punto de escurrimiento (o fluidez).

Punto de niebla: Temperatura a la cual se observan los primeros cristales pequeños de parafinas a medida que el combustible es enfriado.

Punto de obstrucción del filtro en frío (POFF): Temperatura a la cual se han aglomerado la suficiente cantidad de cristales como para producir un taponamiento en el filtro de combustible. Es un ensayo menos conservador que el de punto de niebla y para muchos es el mejor indicador de la operabilidad a bajas temperaturas.

Punto de escurrimiento: Temperatura a la cual el combustible tiene tanta cristales aglomerados que ya no es posible el flujo normal del combustible.

Las propiedades frías del biodiesel dependerán del origen de la materia prima que se utilizó para producirlo. Cuanto mayor sea el grado de saturación de los ácidos grasos presentes en su composición, peor será su comportamiento a bajas temperaturas (mayor insaturación, mejor comportamiento).

En la tabla 2.1.7.3 se muestran algunos ejemplos de puntos de niebla, puntos de escurrimiento y POFF de B100 obtenidos de diferentes materias primas.

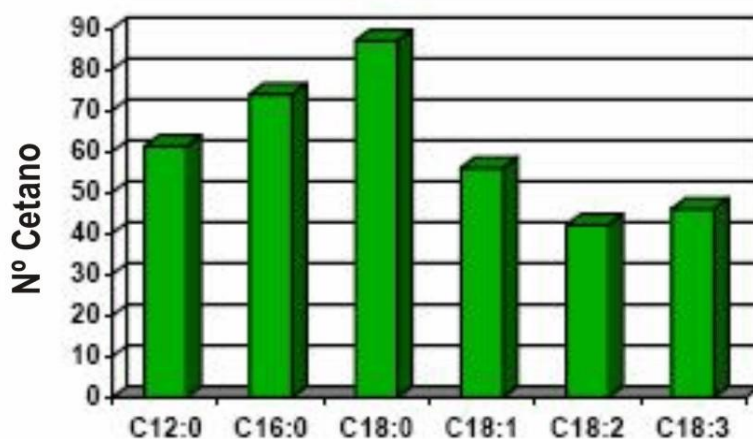
Tabla 2.1.7.3: Datos de flujo en frío para distintos biodiesel

Método de ensayo	Punto de niebla ASTM D 2500		Punto de escurrimiento ASTM D 97		Punto de obstrucción del filtro frío IP 309	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
Combustible B100						
Metil - éster de soja	38	3	25	-4	28	-2
Metil - éster de canola	26	-3	25	-4	24	-4
Metil - éster de tocino	56	13	55	13	52	11
Metil - éster de sebo comestible	66	19	60	16	58	14
Metil - éster de sebo no comestible	61	16	59	15	50	10
Metil - éster de aceite de frituras 1	--	--	48	9	52	11
Metil - éster de aceite de frituras 2	46	8	43	6	34	1

Fuente: Departamento de Energía de EE.UU. Eficiencia Energética y Energía Renovable. Biodiesel – Guía de manejo y uso. 2004

2.1.7.3 Número de Cetano del B100

El biodiesel tiene mayor número de cetano que la mayoría de los diesel de origen fósil. Biodiesel altamente saturado, como el que proviene del procesamiento de grasa animal y aceite de fritura reciclado, pueden tener un número de cetano de 70 o mayor. En el otro extremo, el biodiesel de base insaturada, que contiene altos niveles de ácidos grasos de C18:2 y C18:3 y en el que se incluye el de soja, girasol y colza, tendrá un número de cetano bastante menor - del orden de 47 o ligeramente mayor. El Gráfico 2.1.7.4 muestra el N° de Cetano de biodiesel de distintos tipos de ácidos grasos.

Gráfico 2.1.7.4: Número de Cetano del FAME de distintos ácidos grasos


Tipos de ésteres metílicos de ácidos grasos

Fuente: Departamento de Energía de EE.UU. Eficiencia Energética y Energía Renovable. Biodiesel – Guía de manejo y uso. 2004

2.1.7.4 Estabilidad del B100

La estabilidad tiene que ver con dos temas muy importantes relacionados con el combustible: el envejecimiento (o pérdida de estabilidad) durante largos períodos de almacenamiento del mismo; y la estabilidad a altas temperaturas y/o presión durante su uso en el motor. Al primero normalmente se lo denomina “estabilidad a la oxidación” y al segundo “estabilidad térmica”.

La estabilidad térmica es un indicador de la degradación del combustible cuando el mismo está sujeto a altas temperaturas por un período corto de tiempo, como el que experimentaría en un sistema de inyección de combustible de un motor diesel moderno. Los datos disponibles indican que el B100 tiene buena estabilidad térmica. Datos de campo han mostrado que el biodiesel produce menos residuos de coque en los inyectores de los motores que el biodiesel convencional.

La Norma Estadounidense (ASTM D 6751) no especifica de forma directa la estabilidad, ni para el diesel de origen fósil ni para el biodiesel. La Norma Europea (EN 14214) sí la especifica como tal. Sin embargo, el envejecimiento u oxidación del biodiesel pueden conducir a altos números de acidez, alta viscosidad y formación de gomas y sedimentos que tapan los filtros. Si estas propiedades exceden los límites permitidos por la ASTM D 6751, el B100 se considera fuera de especificación y no debe ser usado como combustible.

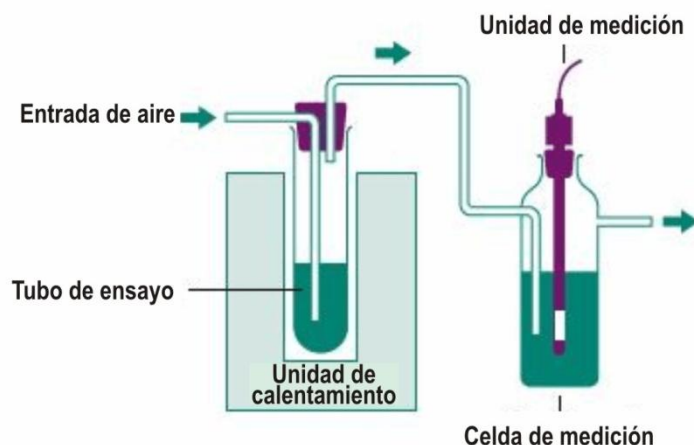
A continuación se listan algunos puntos que pueden ayudar a identificar condiciones que pueden derivar en problemas de estabilidad del combustible:

1. Cuanto mayor es el nivel de insaturación de la materia prima de origen, más probable es la oxidación del combustible. Como regla general, ácidos grasos saturados (tales como 16:0 o 18:0) son estables. A medida que el nivel de insaturación crece (por ejemplo 18:1 a 18:2 y 18:3) la estabilidad del combustible se reduce sensiblemente. El calor y la luz solar aceleran este proceso.
2. Ciertos metales o aleaciones tales como el cobre, latón, bronce, plomo, estaño y zinc, aceleran el proceso de degradación y forman altos niveles de sedimentos. B100 no debería ser almacenado por largo tiempo en recipientes construidos con estos metales.
3. Mantener el biodiesel fuera del contacto con el oxígeno, reduce o elimina la oxidación del combustible e incrementa el período de almacenamiento. Esto se logra utilizando sellos de nitrógeno en tanques de almacenamiento (Blanketing).
4. El uso de aditivos puede ayudar a incrementar la estabilidad del B100.

No hay mucha experiencia con el almacenaje de B100 por períodos superiores a seis meses, de manera que si es necesario almacenarlo por períodos superiores a los seis meses, se deberán usar antioxidantes para evitar la pérdida de calidad del producto. La aditivación del antioxidante debe realizarse en el momento de la fabricación dejando transcurrir el mínimo tiempo posible para optimizar su efecto.

El test de Rancimat es el método más ampliamente utilizado para medir la estabilidad a la oxidación del biodiesel. Este test consiste en burbujear aire a través de biodiesel calentado a 100 °C (figura 2.1.7.5).

Figura 2.1.7.5: Esquema del Test de Rancimat



2.1.7.5 Índice de Yodo

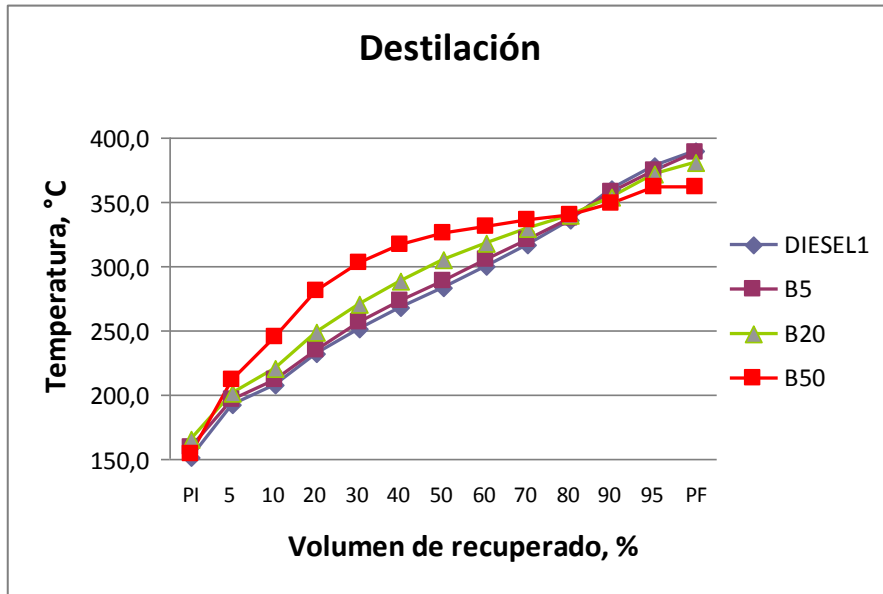
El índice de yodo es un indicador del número de dobles enlaces presentes en el biodiesel, pero sin distinguir su localización (la estabilidad a la oxidación del combustible depende no solo de la cantidad de dobles enlaces, sino también de su ubicación). Si bien altos valores de IY, en general, muestran una mayor tendencia del biodiesel a la oxidación, este indicador es un pobre predictor de la estabilidad a la oxidación del biodiesel y no muestra con fidelidad la tendencia de este a formar depósitos en el motor. Se puede dar el caso de distintos biodiesel con el mismo índice de yodo, pero con comportamientos diferentes respecto de la estabilidad.

2.1.7.6 Efectos sobre las propiedades del diesel en las mezclas de biodiesel (Bx) de soja

De acuerdo a los resultados obtenidos en ensayos efectuados sobre distintas mezclas, se observan las siguientes tendencias:

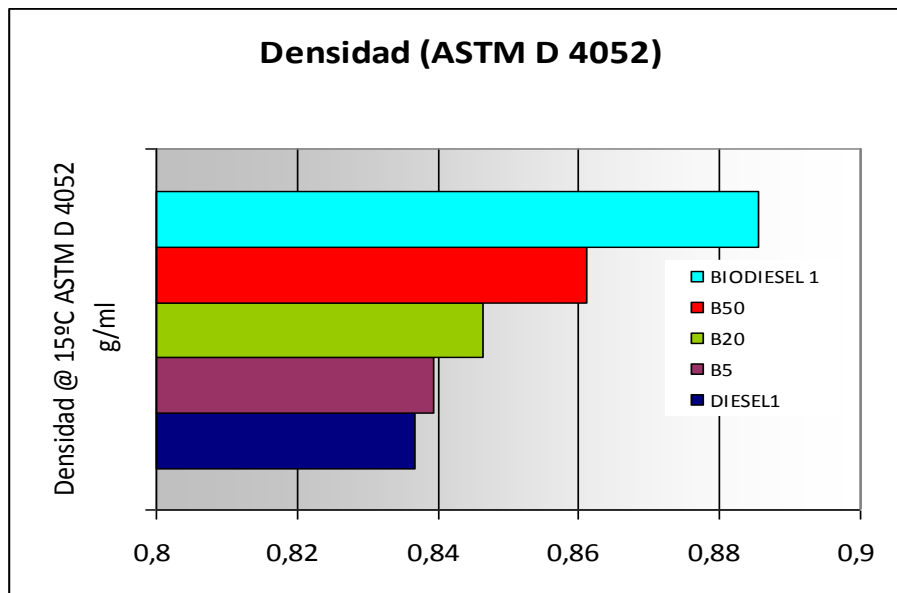
- *Curva de Destilación (ASTM D 86)*: en mezclas de hasta un 5% de biodiesel las diferencias son poco significativas; en cambio, en B20 o superiores se registran importantes variaciones de la curva tanto en la zona media como en el tramo final.

Gráfico 2.1.7.6: Curva de destilación de las diferentes mezclas



- *Densidad (ASTM D 4052)*: dado que la densidad del biodiesel es considerablemente mayor que la de los diesel evaluados, y en tanto esta propiedad es aditiva, se observan incrementos de densidad, a medida que el porcentaje de biodiesel crece en la mezcla.

Gráfico 2.1.7.7: Densidad (ASTM D 4052) de las diferentes mezclas



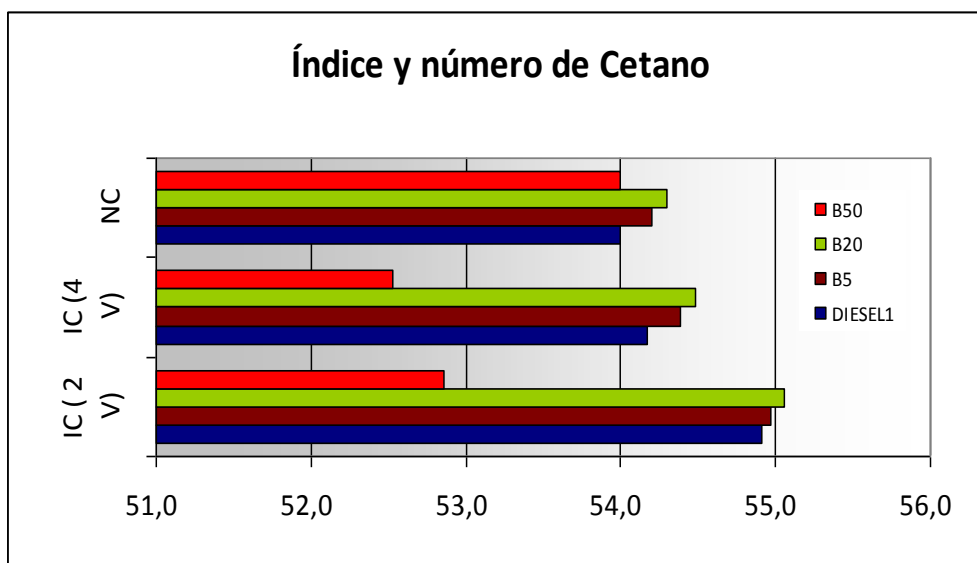
- *Punto de Inflamación (ASTM D 93)*: debido al alto punto de inflamación del biodiesel respecto al diesel, a mayor proporción de biodiesel en la mezcla, mayor punto de Inflamación de los BX (ver Tabla A2.1, en Anexo 2).

- **Índice de Cetano:**

-Índice de Cetano calculado (2 variables, ASTM D 976): este método utiliza una fórmula o ecuación (o su ábaco o nomograma) para determinar el índice de cetano calculado (IC), que es una manera directa de estimación del Número de Cetano. El índice se calcula a partir de los datos de densidad a 15°C y temperatura del 50% de la Curva de Destilación (T50). A mayor densidad de las mezclas: menor IC, y a mayor T50: mayor IC. En la Tabla A2.1 (Anexo 2) se observa un leve aumento del IC hasta la mezcla B20. En B50 se nota una disminución importante (2 unidades respecto al diesel base) debido al aumento de la densidad. Ver Gráfico 2.1.7.8, a continuación.

-Índice de Cetano calculado por ecuación de cuatro variables (ASTM D 4737): en este cálculo, intervienen además de la densidad y T50, los puntos de la destilación, T10 y T90. De acuerdo a resultados obtenidos en las mezclas, este parámetro no tiene significativa variación hasta B20 (Tabla A2.1, Anexo 2). Como en el IC (2V), sólo en B50 se nota el impacto del biodiesel (ver Gráfico 2.1.7.8). Los valores obtenidos se aproximan más al Número de Cetano determinado con motor (ASTM D 613).

Gráfico 2.1.7.8: Índice y número de Cetano



- **Número de Cetano (ASTM D 613)**: el impacto del biodiesel en esta propiedad depende del número de cetano (NC) del diesel y biodiesel que se mezclan. En diesel de alto NC como los de la Tabla A2.1 (Anexo 2) y valores de NC del biodiesel similares (diesel N° 1 con NC 54 y biodiesel N° 1 con NC 51,9) no se observa un impacto significativo (ver Gráfico 2.1.7.9 a continuación). En casos de B5 con biodiesel de bajo valor de NC se observa una leve disminución en el valor del NC de la mezcla, según se muestra en la Tabla A2.2 (Anexo 2) y en el Gráfico 2.1.7.10 (a continuación), del orden de 0,3 a 0,6 unidades en diesel con NC de 47,9 y 53,2.

Gráfico 2.1.7.9: Número de Cetano

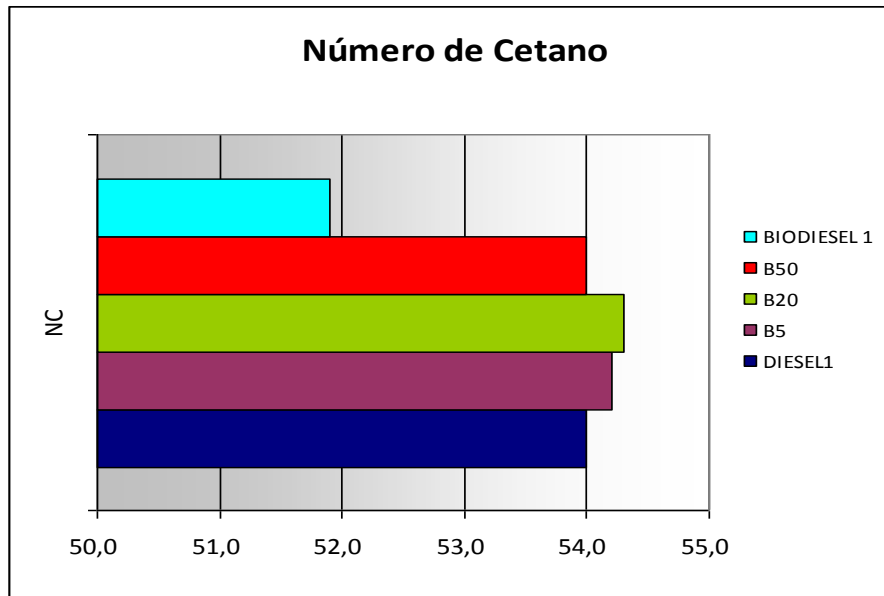
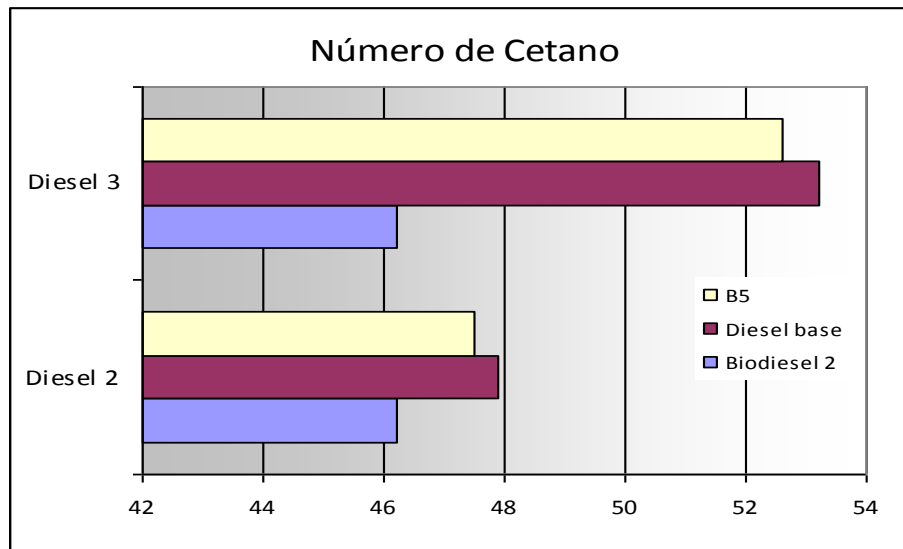


Gráfico 2.1.7.10: Número de Cetano



- Propiedades de flujo en frío:* en los estudios efectuados se ha observado un dispar comportamiento de los efectos de mayores concentraciones de biodiesel en la mezcla. Como en el Número de Cetano, el comportamiento parecería depender de los valores del punto de enturbiamiento (ASTM D 2500) y POFF (Punto de Obstrucción de Flujo en Frío, IP 309) de ambos componentes así como de la composición química del diesel. En el caso de la Tabla A2.1 (Anexo 2) y Gráfico 2.1.7.10 (a continuación) se observa que el agregado de biodiesel con un punto de enturbiamiento bastante menor al diesel (1°C vs. 6,3°C) produce una ligera mejora en el valor de POFF. Únicamente en B50 se verifica un empeoramiento en los valores de POFF. En otras evaluaciones efectuadas con diesel de invierno (Tabla A2.3 en Anexo 2 y Gráfico 2.1.7.11 a continuación), se observa un leve impacto negativo en el valor de POFF, que puede

corregirse con aditivos específicos mejoradores de esta propiedad. En el B5 con 90 ppm de aditivo se verifica un mayor valor de POFF. Con mayores concentraciones, se restituyen los valores iniciales del diesel (-18°C). En este caso se utilizó el aditivo de diesel para corregir la variación, pero existen también aditivos mejoradores de POFF para el biodiesel.

Gráfico 2.1.7.11: Flujo en frío (POFF)

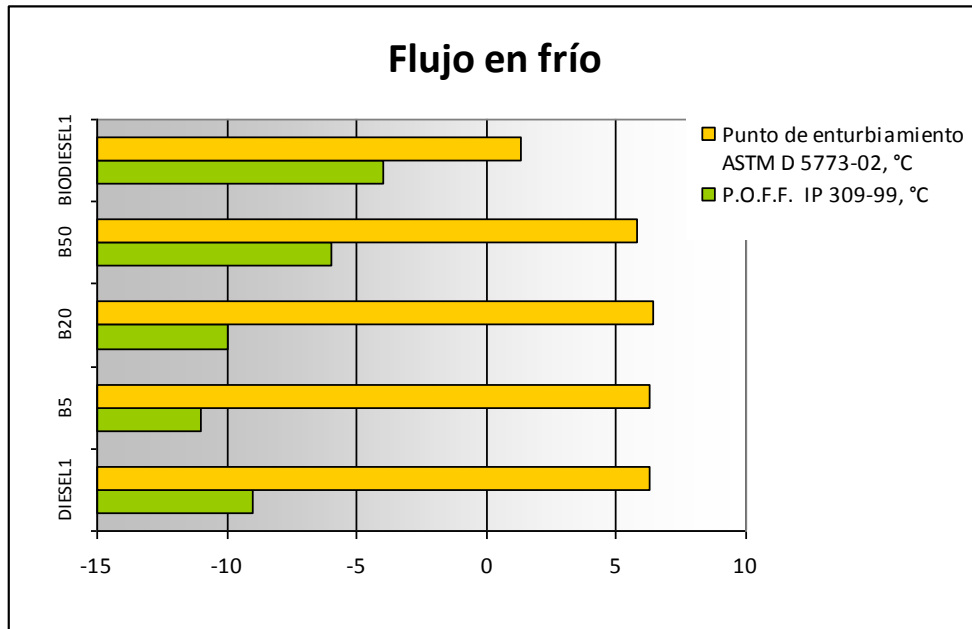
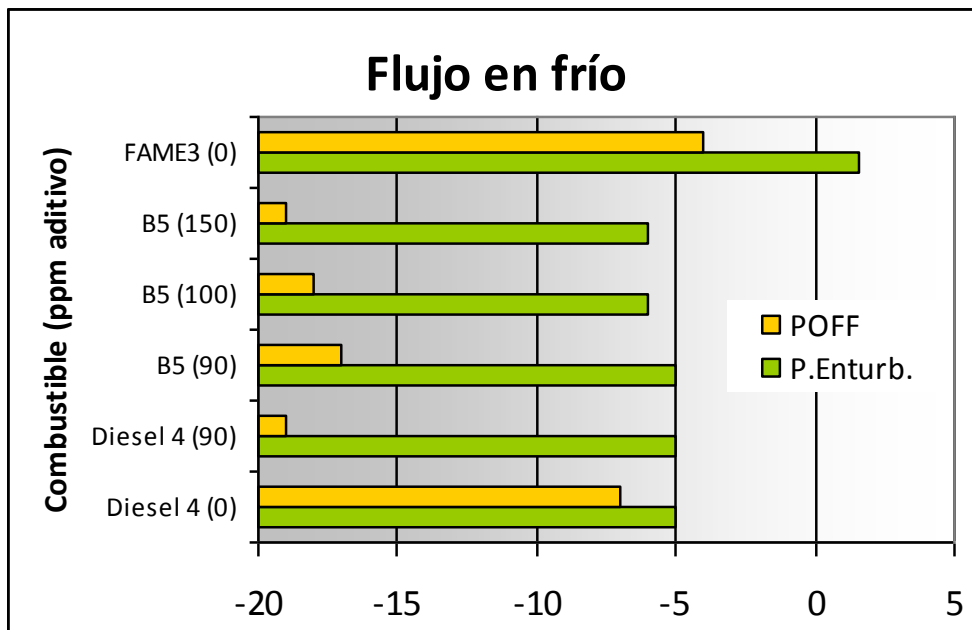


Gráfico 2.1.7.12: Flujo en frío (POFF)



En las Tablas A2.1, A2.4 y A2.5 del Anexo 2 se muestran las principales características de los diesel y biodiesel evaluados.

2.1.8 Desempeño en motores del biodiesel puro y sus mezclas con diesel

De algunos ensayos realizados en motores de vehículo de calle con diesel comercial (referencia), biodiesel puro (B100) y distintas mezclas diesel – biodiesel (B5, B15 y B30) se han podido inferir algunas conclusiones:

1. Torque máximo: No se detectaron diferencias significativas entre los valores de las mezclas B5, B15 y B30
2. Potencia máxima: Los valores de las mezclas son del mismo orden de magnitud (que el diesel de referencia) pero con una caída ($\approx 4\%$) en el B100.
3. Opacidad: Con la mezcla B5 se incrementa la opacidad máxima. Con el resto de las mezclas la opacidad disminuye en forma progresiva según el contenido de biodiesel de la mezcla.
4. Temperatura de los gases de escape: no se registran diferencias significativas para las mezclas.
5. Consumo a carga total: los consumos horarios de todas las mezclas son mayores a los del diesel de referencia. Los consumos específicos también se incrementan.

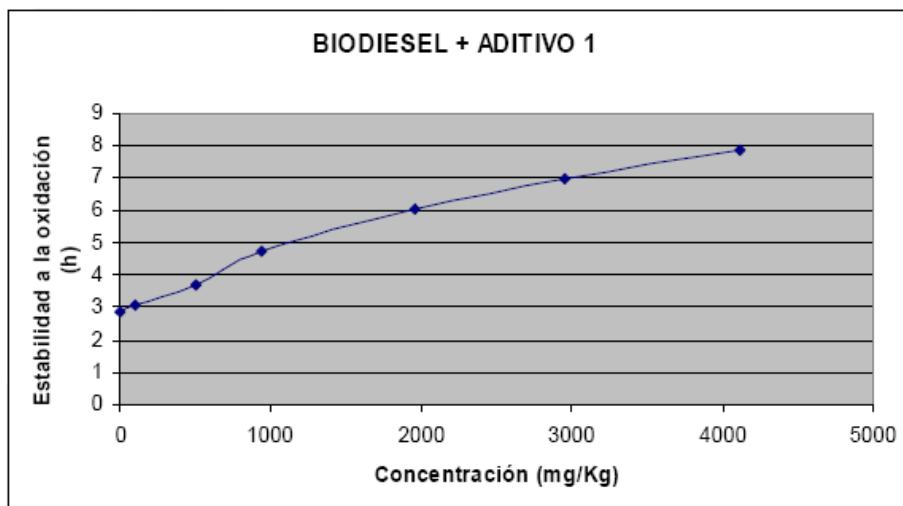
Tabla 2.1.8.1: Comparación de los niveles de emisión entre el biodiesel (B100) y el diesel

Emisiones medias de biodiesel comparadas con las de diesel tradicional según EPA (EE.UU.)	
Tipo de emisión	100% biodiesel
Total HC sin quemar	-67%
Monóxido de Carbono	-48%
Material particulado	-47%
NOx	+/-2%

2.1.9 Aditivos

2.1.9.1 Antioxidantes

Es posible incrementar la estabilidad natural del biodiesel, aditivándolo con un antioxidante apropiado. En el Gráfico 2.1.9.1 se observa un biodiesel con baja estabilidad a la oxidación (3hs), el cual con una tasa de aditivación de 2000 ppm logra cumplir con la especificación de seis horas mínimo según el test de Rancimat.

Gráfico 2.1.9.1: Estabilidad a la oxidación versus concentración de aditivo


En el mercado hay una amplia variedad de productos antioxidantes efectivos.

2.1.9.2 Mejoradores de flujo

Los aditivos mejoradores de flujo permiten que el biodiesel y sus mezclas con diesel tengan un mejor comportamiento a bajas temperaturas. Al igual que los utilizados para el diesel convencional, los aditivos para biodiesel deberán diseñarse para cada base específica. Un producto en particular podría trabajar muy bien con metil éster de colza, pero no hacerlo tan bien con los de soja, o viceversa. Es importante tomar precauciones cuando se intenta utilizar un mejorador de flujo específico para diesel en mezclas de éste con biodiesel ya que los efectos pueden ser muy negativos. También, algunos ensayos de laboratorio han mostrado que los mejores resultados se obtienen cuando el diesel y el biodiesel se aditivan con aditivos específicos.

2.1.10 Análisis energético y de impacto ambiental del ciclo de vida del biodiesel

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta de gestión ambiental que evalúa de modo sistemático los aspectos e impactos ambientales de un biocombustible a través del análisis de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima (biomasa), su producción (producción agrícola, proceso industrial), uso (combustión), tratamiento, reciclado y disposición final. Generalmente se conoce a este análisis como el análisis del “pozo a la rueda”. Cabe destacar que esta herramienta se basa en la interpretación de balances de masa y energía y por lo tanto es más útil para evaluar emisiones y consumo energético que para estimar otros impactos. La pérdida de biodiversidad, la eutrofización, la acidificación y los efectos sobre la salud humana, son impactos que requieren de una visión sistémica que no se explica a través de un análisis de entradas y salidas. Por lo tanto, deben ser usadas otras herramientas complementarias.

En particular, para el biodiesel, el análisis de su ciclo de vida – secuencia de los pasos involucrados en la producción y uso del combustible desde la obtención de la materia prima de la naturaleza hasta el uso final como combustible en un autobús, por ejemplo – permite conocer mejor el balance neto de energía involucrado en todo el proceso, los efectos sobre la emisión de gases de efecto invernadero y la generación de residuos que puedan contaminar el aire, el agua y el suelo. Es decir, el análisis del ciclo de vida es una herramienta que nos permite comprender mejor los beneficios asociados al biodiesel como combustible, respecto del diesel de petróleo. En la *sección 9.3.2.2 Balances energéticos y de emisiones de los biocombustibles* se describen algunos otros aspectos generales importantes acerca de este tema.

2.1.10.1 Balance de energía del ciclo de vida.

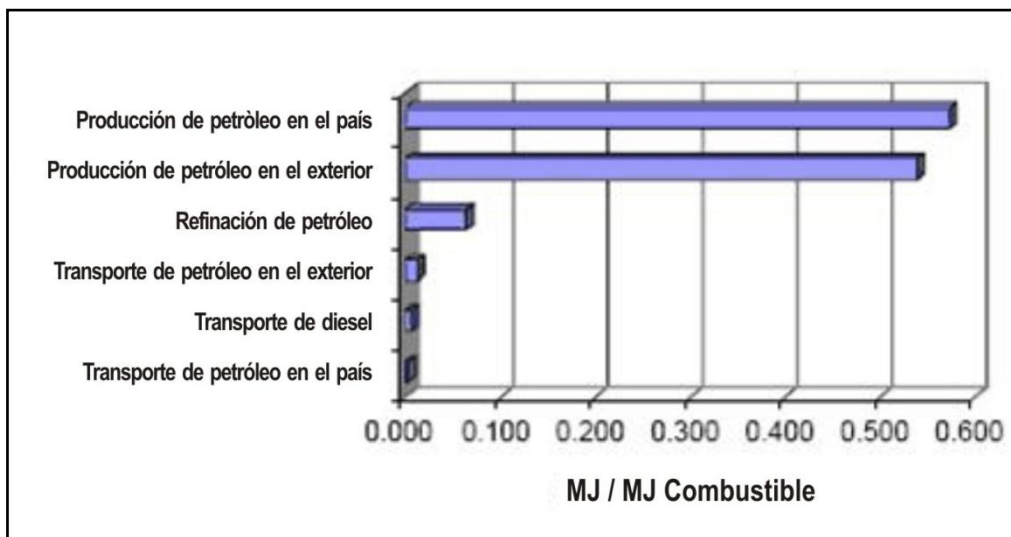
La Tabla 2.1.10.1 y el Gráfico 2.1.10.2 resumen el requerimiento de energía de origen fósil respecto de la energía de salida en el diesel de petróleo según cálculos del Departamento de Agricultura y Energía de EE.UU. Para el diesel se usa 1,1995 MJ de energía fósil para producir 1 MJ de energía en el producto final. Esto corresponde a una relación de energía fósil (Relación de energía fósil = energía en el combustible/ingreso de energía fósil) de 0,8337.

Tabla 2.1.10.1: Requerimiento de energía fósil para el ciclo de vida del diesel de petróleo

Etapas	Energía fósil (MJ / MJ de combustible)	Porcentaje
Producción de petróleo nacional	0,572809	47,75%
Producción de petróleo extranjero	0,539784	45,00%
Transporte de petróleo nacional	0,003235	0,27%
Transporte de petróleo extranjero	0,013021	1,09%
Refinación de petróleo	0,064499	5,38%
Transporte de diesel	0,006174	0,51%
Total	1,199522	100,00%

Fuente: Departamento de Agricultura y Energía de EE.UU. Inventario del ciclo de vida del biodiesel y diesel para uso en ómnibus de transporte público. 1998

Gráfico 2.1.10.2: Ranking de demanda de energía fósil para las etapas de producción del diesel de petróleo



Fuente: Departamento de Agricultura y Energía de EE.UU. Inventario del ciclo de vida del biodiesel y diesel para uso en ómnibus de transporte público. 1998

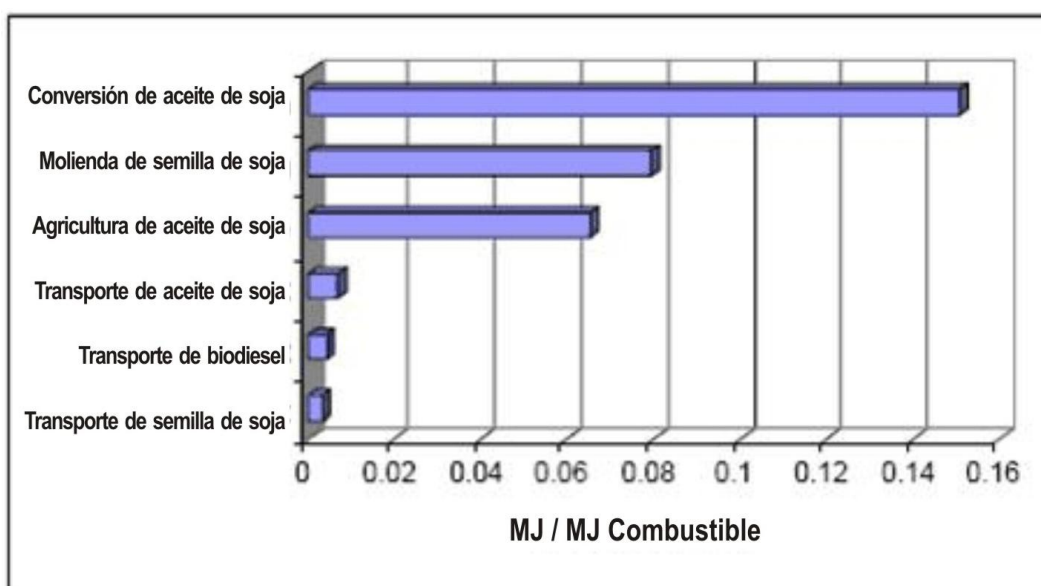
La Tabla 2.1.10.3 y el Gráfico 2.1.10.4 resumen el requerimiento de energía de origen fósil para el ciclo de vida del biodiesel de soja, también según cálculos del Departamento de Agricultura y Energía de EE.UU. El biodiesel de soja usa 0,311 MJ de energía fósil par producir 1 MJ en el combustible, lo que implica una relación de consumo de energía fósil de 3,215. En otras palabras, el ciclo de vida del biodiesel de soja produce un poco más de tres veces de energía en el producto final respecto de la energía fósil utilizada para producirlo.

Tabla 2.1.10.3: Requerimiento de energía fósil para el ciclo de vida del biodiesel de soja

Etapa	Energía fósil (MJ / MJ de combustible)	Porcentaje
Agricultura de la soja	0,0656	21,08%
Transporte de la soja	0,0034	1,09%
Molienda de la soja	0,0796	25,61%
Transporte del aceite de soja	0,0072	2,31%
Conversión del aceite de soja	0,1508	48,49%
Transporte del biodiesel	0,0044	1,41%
Total	0,3110	100,00%

Fuente: Departamento de Agricultura y Energía de EE.UU. Inventario del ciclo de vida del biodiesel y diesel para uso en ómnibus de transporte público.1998

Gráfico 2.1.10.4: Requerimiento de energía fósil versus energía en el producto para el ciclo de vida del biodiesel de soja



Fuente: Departamento de Agricultura y Energía de EE.UU. Inventario del ciclo de vida del biodiesel y diesel para uso en ómnibus de transporte público.1998

Como conclusión se puede decir que en términos de efectividad de uso de la energía fósil el biodiesel de soja rinde alrededor de 3,2 unidades de energía en el producto combustible por cada unidad de energía fósil consumida. En contraste el diesel de petróleo rinde solo 0,83 unidades de energía en el producto por cada unidad de energía fósil consumida. Esto confirma la naturaleza “renovable” del biodiesel. El ciclo de vida del B20 tiene proporcionalmente una menor relación de energía fósil (0,98 unidades de energía en el producto por cada unidad de energía fósil consumida). La relación de energía fósil del B20, refleja el impacto de agregar diesel de petróleo en la mezcla.

2.1.10.2 Emisiones de CO₂

Dada la baja demanda de energía fósil asociada al biodiesel, no es sorprendente que las emisiones de CO₂ de su ciclo de vida sean sustancialmente menores. Por unidad de trabajo desarrollado por un motor de ómnibus, el B100 reduce las emisiones netas en 78,45% comparado con el diesel de petróleo. Las emisiones del B20 son 15,66% menores que las del diesel. Por lo tanto el uso del biodiesel para desplazar al diesel en los buses urbanos es una estrategia muy efectiva para reducir las emisiones de CO₂.

2.1.10.3 Emisiones de material particulado y CO

El ciclo de vida del B100 produce menos emisiones de material particulado y CO (reducciones de 32% y 35% respectivamente) que el equivalente al del ciclo de vida del diesel de petróleo. La mayor parte de estas reducciones ocurren debido a menores emisiones por el caño de escape de los vehículos. Las emisiones de PM10 de un ómnibus urbano que funciona con biodiesel son 63% menores que las emisiones del mismo ómnibus funcionando con diesel de petróleo. El biodiesel reduce en un 46% las emisiones de CO por el caño de escape de los vehículos.

2.1.10.4 Emisiones de NOx.

Las emisiones de NOx del ciclo de vida del B100 son 13% mayores respecto de las del ciclo de vida del diesel de petróleo. Para el ciclo de vida del B20, las emisiones de NOx son mayores en un 2,67%. Este incremento es debido a mayores emisiones por el caño de escape de los vehículos. Un ómnibus urbano que funciona con B100 tiene emisiones de NOx que son 8,89% mayores que la de un ómnibus funcionando con diesel de petróleo.

2.1.10.5 Aguas y sólidos residuales.

La generación de aguas residuales de desecho en el ciclo de vida del biodiesel son menores, en el orden del 80%, que aquellas del diesel del petróleo. La generación de aguas peligrosas también es menor para el biodiesel.

2.1.10.6 Consumo de agua.

En el ciclo de vida del B100 el consumo de agua es tres veces mayor que el equivalente para el diesel de petróleo. Por más información, ver *sección 9.3.2.1 Agricultura y medioambiente*.

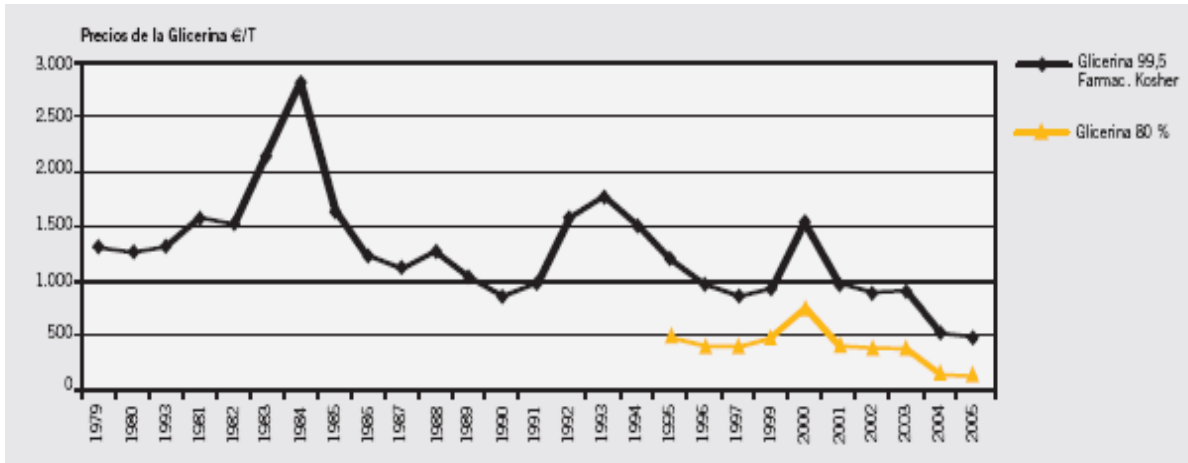
2.2 Aspectos Específicos

2.2.1 Disposición de la glicerina – usos alternativos

La glicerina es un subproducto de la fabricación del biodiesel ($\approx 10\%$ de la alimentación) que una vez purificada encuentra un gran número de aplicaciones. En la mayoría de las aplicaciones actuales supone aportar valor añadido al producto final. La aparición en el mercado de grandes cantidades de glicerina debido al creciente uso del biodiesel como combustible, sin que existan nuevos campos desarrollados de aplicación, ha provocado el descenso de su precio hasta límites en los que puede competir con otras materias primas en aplicaciones con precios inferiores. Sus aplicaciones de mayor volumen son: Intermedio químico (polioles, resinas y otros), cuidado personal, y farmacia y alimentación.

El aumento de la oferta en los últimos años ha hecho que su cotización esté por debajo de otros productos “commodities” con los que presenta analogías fisicoquímicas: bases lubricantes y glicoles, y dada la tendencia, es de esperar que la diferencia de precios se vaya incrementando haciendo de la glicerina un fuerte competidor de estas familias de productos. En el Gráfico 2.2.1.1 se muestra la evolución que ha tenido el precio de la glicerina en los últimos años.

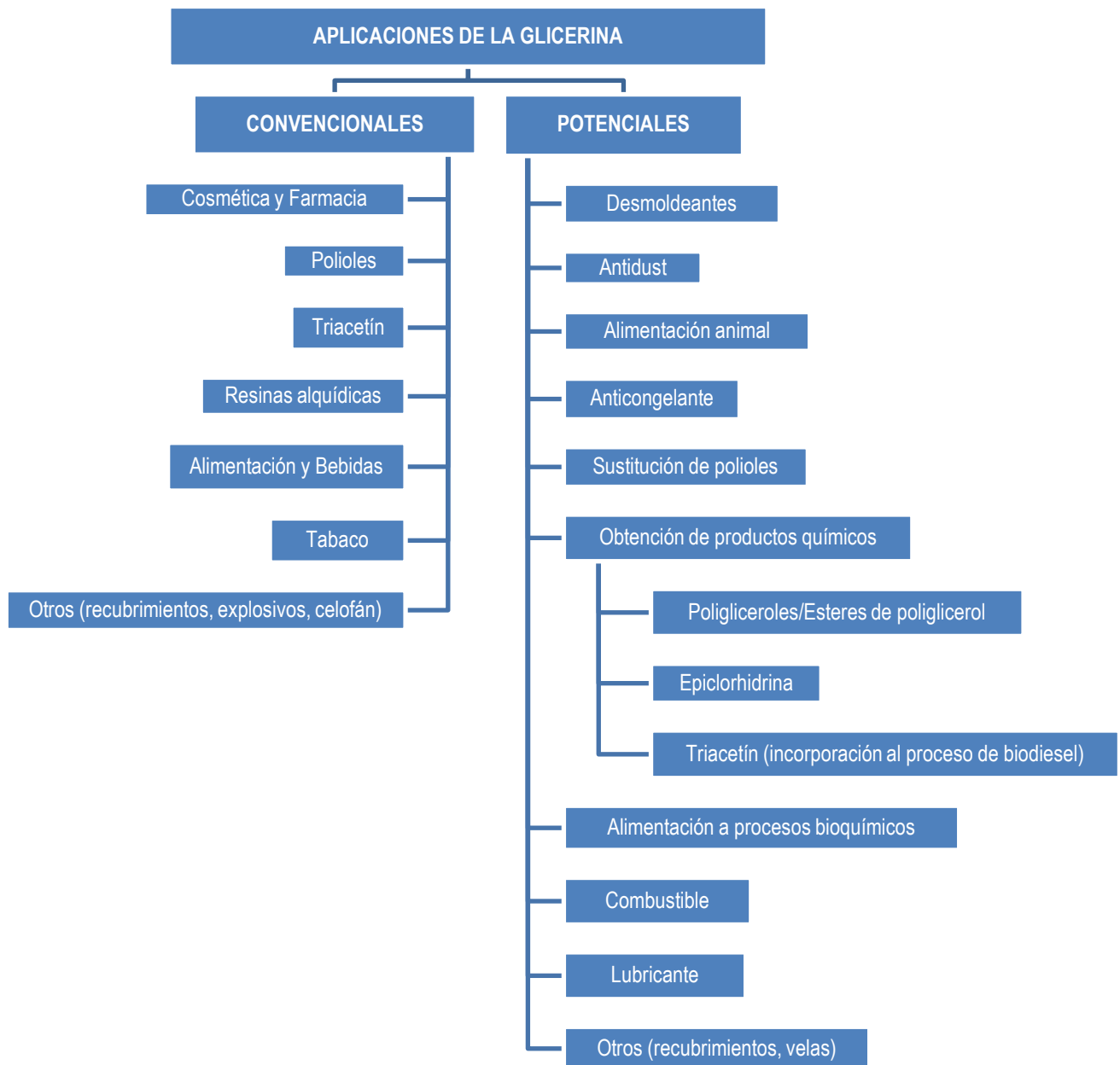
Gráfico 2.2.1.1: Evolución del precio de la glicerina



Fuente: Informes ISF 2. Producción de Biodiesel. Aplicación a países en desarrollo. 2007

El esquema a continuación muestra de forma simplificada las aplicaciones actuales de la glicerina y las que se postulan como futuras.

Figura 2.2.1.2: Aplicaciones actuales de la glicerina y propuestas futuras

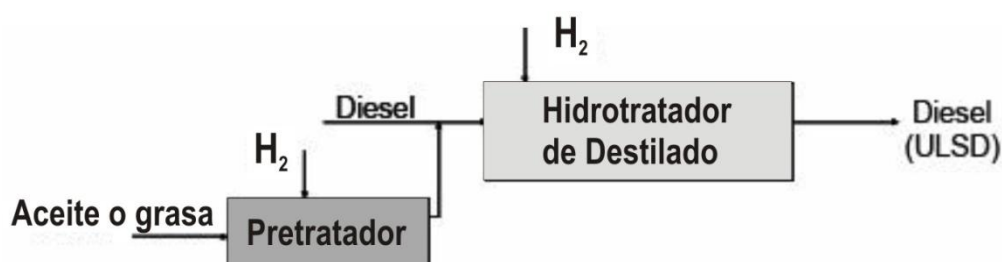


Luego de más de siete años de investigación, a fines de 2007 se dio a conocer en España un nuevo combustible de segunda generación (IUCT-S50) que se obtiene a partir del uso como materia prima de la glicerina producida en el proceso de producción de biodiesel. Esta nueva tecnología permitiría aumentar la rentabilidad global de una planta de biodiesel tradicional, ya que se consigue transformar toda la biomasa entrante (aceite), en biocombustible (una parte biodiesel y otra IUCT-S50).

2.2.2 Bio-Refinación: co-procesamiento de aceite vegetal o grasas en unidades de refinación existentes

Es posible co-procesar biomasa con cargas típicas de unidades de refinación existentes (hidrotratadoras, unidades de craqueo catalítico fluido) y obtener buenos rendimientos y calidad de productos. Esta alternativa de procesar aceites de origen vegetal o grasas en unidades de refinación es una oportunidad de negocio que puede aprovecharse en momentos de precios bajos del aceite vegetal y siempre que haya capacidad ociosa en las instalaciones.

Figura 2.2.2.1: Co-procesamiento de aceites vegetales o grasas y diesel de petróleo en unidades de hidrotratamiento: esquema de proceso



Ventajas:

- ✓ Pueden ser utilizados aceites de distintos orígenes. Poca influencia de la calidad y del origen del aceite vegetal en el proceso.
- ✓ Se mejoran algunas propiedades del diesel: densidad, viscosidad, número de cetano y disminuye el contenido de azufre.
- ✓ No se generan residuos
- ✓ No se necesitan pruebas vehiculares
- ✓ No se requiere de cuidados adicionales en el transporte y stock

Desventajas

- ✓ Disminución de la lubricidad y desmejoramiento de las propiedades frías
- ✓ No disminuye emisiones de CO y de material particulado
- ✓ Gran consumo de hidrógeno, principalmente en cargas altamente insaturadas
- ✓ Alto precio del hidrógeno
- ✓ El alto TAN (*Total Acid Number*) de los aceites vegetales y grasas (2-200) puede obligar a incurrir en costos adicionales para mejorar la metalurgia de la sección de reacción si el porcentaje procesado de estas corrientes es importante. Otros costos de capital pueden incluir un pretratamiento de la carga para remover contaminantes (metales).
- ✓ Dado el alto costo de las unidades de hidrotratamiento, no es atractiva la construcción de unidades exclusivamente para el procesamiento de aceites o grasas.

2.2.2.1 HBIO en Brasil

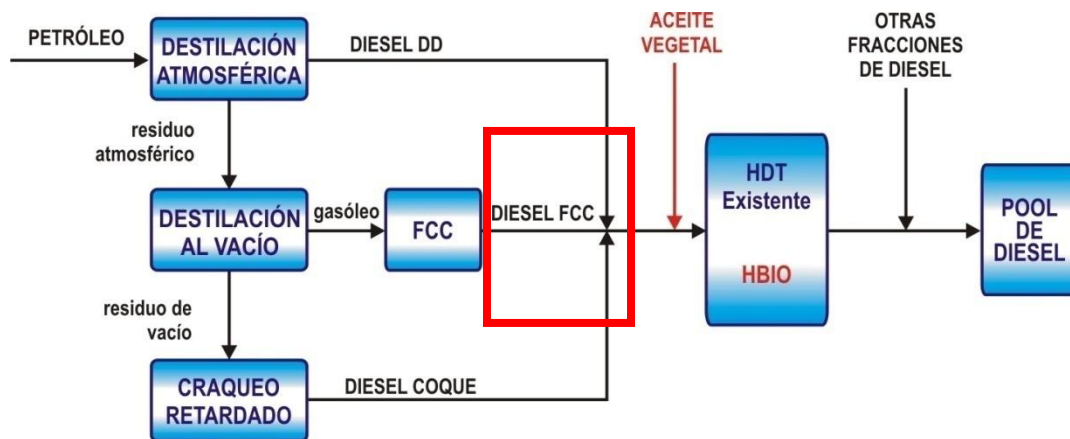
Alineado con el esquema de co-procesamiento de diesel de petróleo y aceites vegetales en unidades de hidrotratamiento existentes, PETROBRAS ha estado trabajando en el desarrollo del proyecto HBIO. La

proporción de aceite vegetal en la corriente total de alimentación a la hidrotratadora es del orden del 5%, aunque PETROBRAS tiene licencia operacional para trabajar con 10%.

Potencial del HBIO en Brasil:

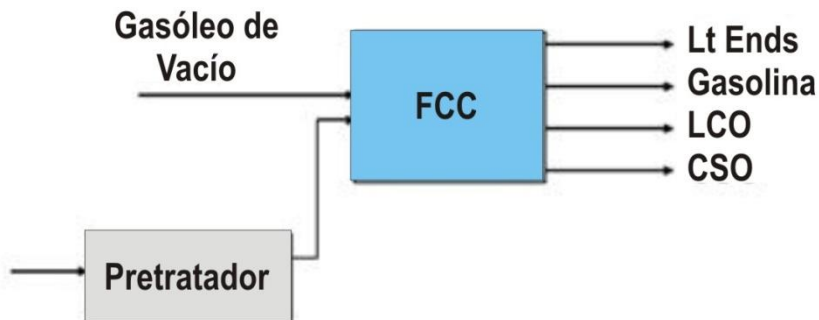
1. Corto Plazo – 2009-2010: Utilización en seis refinерías. Se prevé procesar hasta 425.000 m³/año de aceite vegetal.
2. Largo Plazo – 2011-2014: Implantar el proceso en 11 refinерías. Procesamiento de hasta 1.300.000 m³/año de aceite vegetal.

Figura 2.2.2.2: Esquema del proceso HBIO



Rendimiento del proceso: 100 litros de aceite de soja producen 90 litros de diesel y 2,2 m³ de propano y se consumen cerca de 27 Kg. de H₂.

Co-procesamiento de aceites vegetales o grasas con alimentaciones típicas a una unidad de craqueo catalítico (FCCU, por sus siglas en inglés): Aceites vegetales o grasas pueden ser co-procesados en una unidad de craqueo catalítico fluido, con corrientes típicas que alimentan a esta unidad. A los efectos de poder procesar aceites vegetales y grasas, se requerirá un sistema separado de alimentación y con pretratamiento, para remover metales (Ca, K) que podrían envenenar el catalizador del FCC y también evitar problemas metalúrgicos en el sistema de alimentación de carga cuando se procesan fundamentalmente grasas.

Figura 2.2.2.3: Esquema del proceso FCCU


2.2.2.2 Biocetano en Colombia

Colombia, a través del Instituto Colombiano del Petróleo de ECOPETROL, durante dos años de investigación en los laboratorios, plantas piloto y una planta de hidrotratamiento de la refinería de Barrancabermeja, logró producir un combustible que tiene como materia prima el aceite de palma, con cero azufre y un número de cetano cercano a 100. Este producto se ha denominado "biocetano".

La gran ventaja de usar el biocetano como componente del diesel es que además de mezclarlo en mayor proporción que el biodiesel con el diesel, sin las restricciones que establece el sector automotriz a las mezclas de diesel y FAME. Otra ventaja en la producción del biocetano es que no se genera glicerina, y en su lugar se produce GLP, que en determinados momentos es más provechoso que la glicerina.

Algunos resultados preliminares del comportamiento de un motor con biocetano, para medir la relación de galón por kilómetro recorrido, mostraron una reducción en el consumo del 10%, lo cual sería ideal para el medio ambiente. Sin embargo se seguirán realizando pruebas en otros motores y condiciones de operación para validar estos resultados.

2.2.3 Biocombustibles de segunda generación

Los actuales biocombustibles generan cada vez más dudas acerca de su viabilidad, su impacto medioambiental y su sostenibilidad a largo plazo. Por ello, diversas investigaciones y proyectos tecnológicos en todo el mundo están trabajando en el desarrollo de una segunda generación que contrarreste estos inconvenientes. Las posibilidades en cuanto a materias primas y tecnologías son diversas, y los expertos creen que en los próximos años podrían estar ya en los depósitos de nuestros vehículos.

La diferencia fundamental de los nuevos carburantes de segunda generación (2G) con respecto a los actuales, es que se van a elaborar a partir de mejores procesos tecnológicos y materias primas que no se destinan a la alimentación y se cultivan en terrenos no agrícolas o marginales. De esta manera, la polémica generada por los actuales biocombustibles, acerca de sustituir alimento por carburante quedaría zanjada. Por ello, los biocombustibles 2G aparecen con el objetivo de superar las limitaciones de expansión y los graves conflictos que pueden generar los actuales agro-combustibles.

Los principales países que están apostando por estos nuevos biocombustibles 2G son casi los mismos que en el caso de la primera generación. En este sentido, Alemania, Estados Unidos y Suecia son los que más

están investigando para su implantación a gran escala. En Suecia, por ejemplo, hay un plan gubernamental para sustituir completamente el petróleo en el transporte por combustibles de origen vegetal para 2020.

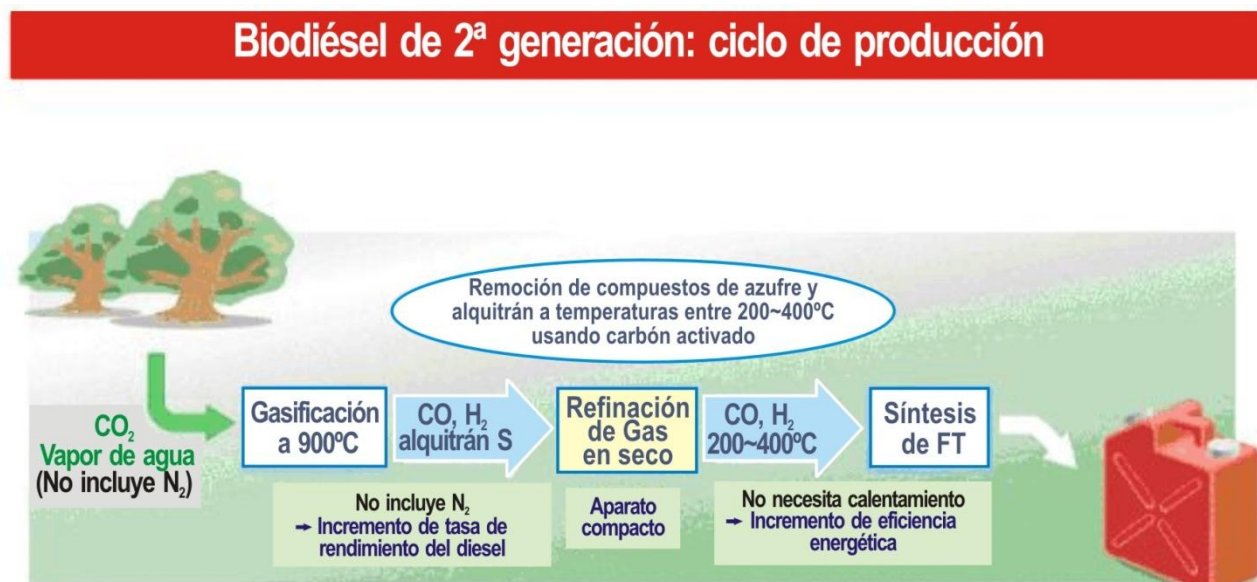
Según la Agencia EFE, Alemania, con presencia de su canciller Angela Merkel, inauguró el 16 de abril de 2008, la primera planta comercial de biocombustibles de segunda generación ubicada en Freiberg, la cual empleará como materia prima desechos de maderas y plantas. El fabricante, *Choren Industries*¹, habría anunciado que estaba previsto que la planta produzca cerca de 18 millones de litros de biocombustibles de segunda generación por año. En cuanto a los productos que surgirán de esta segunda generación, los mismos se destinarían fundamentalmente al transporte por carretera, sustituyendo a gasolinas y gasóleos. A medio plazo, también podrían sustituir al keroseno empleado en la aviación.

No obstante, los biocarburantes 2G se encuentran todavía en fase de laboratorio o de proyecto piloto. Las estimaciones indican que se tendrá que esperar de tres a cinco años para utilizarlos de manera significativa, aunque algunos países pueden estar a punto de comenzar su uso.

El biodiésel de segunda generación presenta las siguientes características:

1. Es una mezcla de origen vegetal
2. El proceso habitual se realiza en dos fases:
 - a. Gasificación de biomasa y obtención de gas de síntesis
 - b. Reacción de Fischer-Tropsch (FT) y obtención de un hidrocarburo
3. Existen varias tecnologías, actualmente a escala de laboratorio y/o piloto.

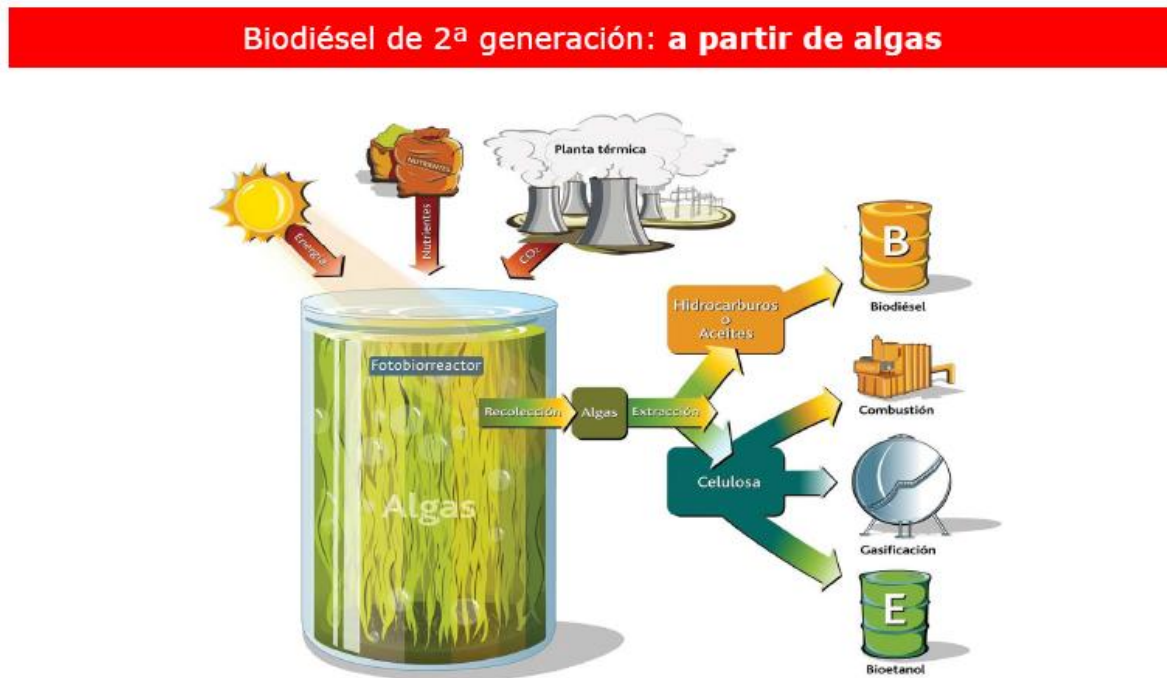
Figura 2.2.3.1: Ciclo de producción del biodiésel de segunda generación



Fuente: Biocarburantes de segunda generación. El punto de vista de Acciona. Acciona Biocombustibles. 2008

¹ www.choren.com

Figura 2.2.3.2: Biodiésel de segunda generación a partir de algas



Fuente: Biocarburantes de segunda generación. El punto de vista de Acciona. Acciona Biocombustibles. 2008

2.2.4 Biomasa

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa deriva de material vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animal.

El valor energético de la biomasa de materia vegetal proviene originalmente de la energía solar a través del proceso conocido como fotosíntesis. La energía química que se almacena en las plantas y los animales (que se alimentan de plantas u otros animales), o en los desechos que ellos producen, se llama bioenergía. Durante procesos de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía, a menudo en la forma de calor, y el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono para restituir el que fue absorbido durante el crecimiento de la planta.

Producir energía a partir de biomasa significa acceder a diferentes opciones para su conversión en productos aprovechables energéticamente. En general un sistema bioenergético está constituido por los siguientes elementos:

- ✓ La biomasa producida por cultivos dedicados (bosques, pastos, etc.), hojarasca, residuos de los bosques o biomasa de basura (residuos industriales, residuos orgánicos domésticos e industriales)
- ✓ La biomasa debe ser cosechada, recolectada, transportada y finalmente almacenada en el lugar de procesamiento.

- ✓ La biomasa se puede transformar por medio de diferentes procesos seleccionados, de acuerdo al tipo y cantidad de biomasa disponible, al uso final, a las exigencias ambientales y a las condiciones económicas, entre otros.

La mayor parte de los procesos de conversión utilizan rutas conocidas como termoquímicas o bioquímicas. La termoquímica emplea tres formas diferentes: combustión, gasificación y pirólisis. La bioquímica puede emplear el proceso de digestión y fermentación que se usa para producir alcoholes.

Al contrario de las energías extraídas del carbón o del petróleo, la energía derivada de la biomasa es renovable indefinidamente. Al contrario de las energías eólica y solar, la de biomasa es fácil de almacenar. En cambio, opera con enormes volúmenes combustibles que hacen su transporte oneroso y constituyen un argumento a favor de una utilización local y sobre todo rural.

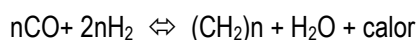
La biomasa lignocelulósica del bagazo, las maderas o el pasto se someten a procesos de hidrólisis ácida o enzimática para producir azúcares que fermentan a etanol. En la actualidad se trabaja intensamente en desarrollar tecnologías costo-eficientes para el aprovechamiento de esta abundante materia prima.

2.2.5 Biogás, BTL, GTL

El biogás es la mezcla de metano y otros gases que se desprende durante la degradación anaerobia de la materia orgánica por la acción de microorganismos. Se obtiene mediante un digestor o bien canalizándolo directamente en un vertedero controlado. En el primer caso, la temperatura del digestor se mantiene a unos 50 grados centígrados; de este modo se logra que el pH esté comprendido entre 6,2 y 8, lo que favorece la actividad de los microorganismos. La degradación bioquímica, de gran complejidad y que dura entre 10 y 25 días, se desarrolla en tres fases principales: la hidrólisis y acidogénesis, la acetogénesis, y la metanogénesis. Tanto el tipo de sustrato orgánico como las condiciones del proceso y el grado que este alcanza hacen que las proporciones de los componentes del biogás (54%-70% para el metano, 27%-45% para el CO₂, etc.) varíen mucho. El biogás se emplea tanto para la generación de calor mediante combustión como para la generación de energía mecánica o eléctrica, principalmente en las mismas plantas donde se obtiene.

GTL significa “Gas to Liquid”, y es un proceso que convierte el gas natural en combustibles líquidos ultra limpios. El proceso GTL tiene tres etapas marcadamente diferenciadas, que son las siguientes:

1. Generación del gas de síntesis, sin-gas. Donde se produce la mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono a partir del gas natural. Para esta etapa existen diversos procesos como el reformado de vapor, oxidación parcial, reformado de CO₂, reformado auto-térmico, y plasma. La diferencia entre ellos radica principalmente en la relación H₂/CO que se obtiene, tipo de catalizadores y, lógicamente, las condiciones de operación.
2. Síntesis de Fischer-Tropsch, donde el sin-gas es convertido en líquido mediante una reacción exotérmica y en presencia de un catalizador de cobalto o hierro:



Los productos obtenidos dependen principalmente del gas de síntesis, el catalizador y las condiciones de operación; si éstas son más severas (temperatura 300 - 350°C) se obtiene más gasolina y si son menos severas (temperatura de 220 a 240°C) prima el rendimiento de diesel. Las presiones de operación fluctúan entre 145 y 580 psia.

3. Rectificación del producto, que se efectúa mediante un proceso de hidrocrqueo menos severo que la operación convencional de una refinería por la mejor craqueabilidad de la carga que está compuesta principalmente por cadenas largas de hidrocarburos. Los principales productos finales obtenidos son gasolina, diesel y lubricantes.

El diesel es el principal producto del proceso GTL: representa hasta el 70% del total, y tiene como principales ventajas su bajo contenido de azufre que puede ser hasta menor de 5 ppm, aromáticos menores a 1% y un número de cetano mayor a 70.

La gasolina es el segundo producto en rendimiento, el cual varía entre 15 y 25% de la producción total. Es altamente parafínica pero con la desventaja de un octanaje bajo, por lo que no se usa en motores vehiculares a gasolina, pero es ideal para alimentar plantas petroquímicas.

En general, los combustibles producidos en una planta GTL presentan ciertas ventajas ambientales frente a sus pares obtenidos en las refinerías de petróleo convencionales, tales como la mayor relación hidrógeno/carbono, lo cual deriva en una menor emisión de particulados y óxidos de nitrógeno (NOx), y la menor concentración de azufre y aromáticos que influye en la menor emisión de óxidos de azufre y material particulado.

Además una planta de GTL puede producir ciertas especialidades como parafinas normales, ceras, aceites lubricantes y pequeñas cantidades de productos oxigenados como etanol, metano, n-propanol, n-butanol y acetona. Sudáfrica es el líder en la producción de combustibles líquidos a partir de gas, ya sea natural u obtenido del carbón, le siguen Qatar, y Malasia. Asimismo, existen proyectos en ejecución en diversos otros países.

Hasta hace poco tiempo, las plantas GTL fueron consideradas muy caras, pues requieren una inversión aproximada de 25.000 a 30.000 USD por barril de líquido producido, sin embargo, con el acelerado incremento del precio del petróleo y las exigencias ambientales estas inversiones se han tornado cada vez más atractivas para los países que disponen de gas en volúmenes apreciables. Se conoce que para cada mil barriles de líquido producido por día, se requieren aproximadamente de 9 a 11 millones de pies cúbicos de gas natural por día.

ANEXO 1

Especificaciones del biodiesel referentes a nivel mundial

Tabla A1.1: Especificaciones de biodiesel - valores límites

Características	Unidades	Europa	EE.UU.	Brasil	Argentina	Colombia
		EN 14214/07	ASTM D-6751-08	ANP N°7/08	Resolución SE 1283/06	NTC 5444
Contenido de éster	%m/m, mín.	96,5		96,5	96,5	96,5
Densidad a 15°C	g/cm ³	0,860-0,900		(a 20°C) 0,850-0,900	0,875-0,900	0,86-0,900
Viscosidad a 40°C	cSt	3,5-5,0	1,9 - 6,0 (1)	3,5-6,0	3,5-5,0	1,9-6,0
Punto de inflamación	°C, mín.	120	93	100	100	120
Azufre	%m/m, máx.	0,001	0,0015 (2)	0,005	0,001	
Número de cetano	mín.	51	47	Informar	45	47
Contenido de agua	Mg/Kg., máx.	500		500		500
Agua y sedimentos	%v/v, máx.		0,05		0,05	
Corrosión en lámina de cobre	máx.	1	n°3	1	1	1
Metanol	%m/m, máx.	0,2	0,2 (ó P.I. 130°C mín.)	0,2 (3)		0,2 (3)
Glicerina libre	%m/m, máx.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Glicerina total	%m/m, máx.	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25
Índice/ N° de yodo	máx.	120		Informar	135	120
Índice de acidez	mg KOH/g, máx.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cold soak filterability	Segundos, máx.		360			
Metales alcalinos (Na+K)	Mg/Kg. - máx.	5	5	5		5
Grupo II metales (Ca+Mg)	Mg/Kg., máx.	5	5	5		5
Contaminación Total	Mg/Kg., máx.	24		24		24
Residuo Carbonoso	%m/m, máx.	0,3 (s/10 % dest.)	0,05	0,05		0,3
Cenizas Sulfatadas	%m/m, máx.	0,02	0,02	0,02		0,02
Estabilidad a la oxidación 110°C	horas, mín.	6	3	6	6	6
Éster metílico-ácido linolénico	%m/m, máx.	12				12
Cont. monoglicérido	%m/m, máx.	0,8		Informar		0,8
Cont. diglicérido	%m/m, máx.	0,2		Informar		0,2
Cont. triglicérido	%m/m, máx.	0,2		Informar		0,2
Ester metílico Polinsaturado (≥ 4 dobles enlaces)	%m/m, máx.	1				
Fósforo	Mg/Kg., máx.	10	10	10	10	10
Temperatura equivalente atmosférica (90%R)	°C, máx.		360			360
Punto de enturbiamiento	°C		Informar (4)			Informar
POFF	Límites			Especificado por región		Informar
Grado A	°C, máx.	5		5		
Grado B	°C, máx.	0		0		
Grado C	°C, máx.	-5		-5		
Grado D	°C, máx.	-10		-10		
Grado E	°C, máx.	-15		-15		
Grado F	°C, máx.	-20		-20		

(1) Límite superior al diesel. Debe considerarse cuando se mezcla.

(2) Para distintos límites de azufre del diesel que se comercializa

(3) Corresponde a metanol o etanol

(4) Límite generalmente superior al del diesel. Debe tenerse en cuenta cuando se mezcla.

Tabla A1.2: Especificaciones de biodiesel – métodos de ensayo

Características	Europa	EE.UU.	Brasil	Argentina	Colombia
	EN 14214/07	ASTM 6751-08	ANP N°7/08	Resolución 1283/06	NTC 5444
Contenido de éster	EN 14103		EN 14103	EN 14103	EN 14103
Densidad a 15°C	EN ISO 3675 EN ISO 12185		ASTM D-1298 /4052 EN ISO 3675 / 12185	ASTM D-1298	ASTM D-4052 ISO 3675
Viscosidad a 40°C	EN ISO 3104	ASTM D-445	ASTM D-445 EN ISO 3104	IRAM IAPG A 6597 ASTM D-445	ISO 3104 ASTM D-445
Punto de inflamación	EN ISO 3679	ASTM D-93	ASTM D-93 EN ISO 3679	ASTM D-93 IRAM IAP 6539	ASTM D-93 ISO 2719
Azufre	EN ISO 20846 EN ISO 20884	ASTM D-5453 ASTM D-7039(op)	ASTM D-5453 EN ISO 20846/20884	ASTM D-4294	
Número de cetano	EN ISO 5165	ASTM D-613 ASTM D-6890 (op)	ASTM D-613/6890 (op) EN ISO 5165	ASTM D-613	ASTM D-613 ISO 5165
Contenido de agua	EN ISO 12937		ASTM D-6304 EN ISO 12937		ASTM E-203 ISO 12937
Agua y sedimentos		ASTM D-2709		ASTM D-1796	
Corrosión a la lámina de cobre	EN ISO 2160	ASTM D-130	ASTM D-130 EN ISO 2160	ASTM D-130 ISO 2160	ASTM D-130 ISO 2160
Metanol / alcohol	EN 14110		EN 14110		EN 14110
Glicerina libre	EN 14105 EN 14106	ASTM D-6584	ASTM D 6584 (1) EN 14105 (1) EN 14106 (1)	ASTM D-6584 NFT 60-704	ASTM D 6584 EN 14105 EN 14106
	EN 14105		ASTM D 6584 EN 14105 (1)	ASTM D-6584 NFT 60-704	ASTM D-6584 ISO 14105
Glicerina total	EN 14105	ASTM D-6584	ASTM D 6584 EN 14105 (1)	ASTM D-6584 NFT 60-704	ASTM D-6584 ISO 14105
Índice de yodo	EN 14111		EN 14111	EN 14111	EN 14111
Índice de acidez	EN 14104	ASTM D-664	ASTM D-664 EN 14104 (1)	ASTM D-664	
Cold soak filterability		ASTM D 6751 Anexo A1			
Metales alcalinos (Na+K)	EN 14108 / 14109/14538	EN 14538	EN 14108 /14109/ 14538		EN 14108 / 14109 ASTM D5864
Metales Grupo II (Ca+Mg)			EN 14538		EN 14108 / 14109
Contaminación total	EN 12662		EN 12662		EN 12662
Residuo carbonoso	EN ISO 10370	ASTM D-4530	ASTM D-4530		ASTM D-4530
Cenizas sulfatadas	ISO 3987	ASTM D-874	ASTM D-874 ISO 3987		ASTM D-874 ISO 3987
Estabilidad a la oxidación 110°C	EN 14112		EN 14112 (1)	EN 14112	EN 14112
EM ácido linolénico	EN 14103				EN 14103
Contenido de monoglicérido	EN 14105		EN 14105 ASTM D 6584 (1)		EN 14105 ASTM D 6584
Contenido de diglicérido	EN 14105		EN 14105 ASTM D 6584 (1)		EN 14105 ASTM D 6585
Contenido de triglicérido	EN 14105		EN 14105 ASTM D 6584 (1)		EN 14105 ASTM D 6586
Contenido de EM polinsaturado (≥ 4 dobles enlaces)	En desarrollo				
Fósforo	EN 14107	ASTM D-4951	ASTM D-4951 EN 14107	EN 14107 ASTM D-4951	ASTM D-4951 EN 14107
Temp. equivalente atm.(90%R)		ASTM D-1160			ISO 3405
Punto de enturbiamiento		ASTM D-2500			ASTM D-2500
POFF	EN 116	ASTM D-6371	ASTM D-6371 EN 116		ASTM D-6371 EN 116

⁽¹⁾ Deberá validarse para la materia prima no prevista en el método y ruta de producción etílica.

ANEXO 2

**Ensayo de las propiedades de mezclas de diesel con biodiesel de soja –
tablas de datos**

Tabla A2.1: Calidad del diesel 1, mezclas, y biodiesel 1

REFERENCIA	DIESEL 1	BX			BIDIESEL 1
		B5	B20	B50	
Ensayos					
Densidad @ 15°C ASTM D 4052 g/ml	0,8368	0,8393	0,8464	0,8611	0,8855
Azufre ASTM D 2622-04, % p/p	0,154				
Viscosidad @ 40°C ASTM D 445-03, cSt	3,0998	3,2232	3,2706	3,5720	4,1422
Índice de cetano ASTM D 976 (2 V)	54,9	55,0	55,1	52,9	
Índice de cetano ASTM D 4737 (4 V)	54,2	54,4	54,5	52,5	
Número de cetano ASTM D 613	54,0	54,2	54,3	54,0	51,9
Punto de Inflamación ASTM D 93, °C	52,4	53,1	56,6	65,1	168,0
Transparencia y brillo	C&B ⁽³⁾	C&B ⁽³⁾	C&B ⁽³⁾	C&B ⁽³⁾	
Color ASTM por espectrofotómetro DP-02-114	1	1,1	0,8	0,7	
Punto de enturbiamiento ASTM D 5773-02, °C	6,3	6,3	6,4	5,8	1,3
POFF IP 309-99, °C	-9	-11	-10	-6	-4
% volumen recuperado (°C):					
<i>Punto Inicial</i>	150,9	159,5	164,8	154,1	
<i>T5</i>	191,8	196,0	201,7	211,9	
<i>T10</i>	207,1	211,1	219,9	245,0	
<i>T20</i>	232,6	235,2	248,5	280,4	
<i>T30</i>	251,0	255,9	270,0	302,7	
<i>T40</i>	267,7	272,8	288,5	316,7	
<i>T50</i>	283,4	288,6	304,6	325,3	
<i>T60</i>	300,0	304,9	317,8	331,1	
<i>T70</i>	317,1	320,9	329,5	335,5	
<i>T80</i>	336,2	337,3	339,8	340,2	
<i>T90</i>	360,4	357,1	353,5	348,1	
<i>T95</i>	378,5	374,7	372,1	360,9	
<i>Punto Final</i>	389,9	388,8	381,4	361,4	
<i>Rendimiento, % vol.</i>	98,5	99,1	98,6	98,8	
<i>Residuo, % vol.</i>	1,0	0,7	1,0	1,0	
<i>Pérdidas, % vol.</i>	0,5	0,2	0,4	0,2	

Tabla A2.2: Número de cetano

	Diesel 2 ⁽¹⁾			Diesel 3 ⁽²⁾		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio
FAME 2	46	46,4	46,2	46	46,4	46,2
Diesel base	48,1	47,6	47,9	53,1	53,3	53,2
B5	47,6	47,3	47,5	52,6	52,6	52,6

⁽¹⁾ Contiene aditivo mejorador del número de cetano.

⁽²⁾ No contiene aditivo mejorador del número de cetano.

⁽³⁾ Claro y brillante.

Tabla A2.3: Flujo en frío

	Diesel 4	B5	B5	B5	FAME 3	
Concentración de aditivo mejorador del flujo en frío del diesel, ppm	0	90	90	100	150	0
Punto de enturbamiento (°C)	-5	-5	-5	-6	-6	1,6
POFF (°C)	-7	-19	-17	-18	-19	-4

Tabla A2.4: Calidad del diesel utilizado

Muestra	DIESEL 2	DIESEL 3	DIESEL 4
Densidad @ 15°C, ASTM D 4052, g/ml	0,8536	0,8354	0,8392
Índice de cetano ASTM D 976 (2 V)	49,1	53,0	48,8
Transparencia y brillo	C&B (1)	C&B (1)	C&B (1)
Destilación, ASTM-D-86, °C			
10% vol. recuperado	202,0	191,0	191,5
50% vol. recuperado	283,0	271,0	258,0
90% vol. recuperado	358,0	353,0	357,1

⁽¹⁾ Claro y brillante.

Tabla A2.5: Calidad del biodiesel utilizado

REFERENCIA	FAME 1	FAME 2	FAME 3
Origen	Aceite de soja		
Fecha	Junio de 2007	Enero de 2009	Enero de 2009
Densidad @ 20°C, ASTM D 4052, mg/ml	0,8855	0,8817	0,887
Número de ácido, ASTM D 664, mg KOH/g	0,313	0,149	0,298
Número de yodo, prEN 14111, g iodo/100 g	128,1	130,5	
Viscosidad @ 40°C, ASTM D 445, cSt	4,1422	4,136	
Agua, ASTM D 4928-96, mg/Kg.	281,45	321	
Punto de inflamación, ASTM D-93, °C	>160	169	
Corrosión a la lámina de cobre 3 hs.@ 50°C, ASTM D 130	1A	1A	
Número de cetano, ASTM D 613	51,9	46,8	46,2
Azufre, ASTM D 2622-03, % p/p	<0,0003	< 0,001	
Estabilidad a la oxidación @ 110°C, EN 14112, hs	6,5	8,25	6
Punto de enturbiamiento, ASTM D 5773-05, °C	1,3	1,6	
POFF, IP 309-99, °C	-4	-4	-5
Ésteres metílicos, cromatografía gaseosa capilar c/FID y MSD, %p/p	97,15	95,65	98,77
Metil éster C12:0	0,01		0,01
Metil éster C14:0	0,07	0,08	0,07
Metil éster C16:0	10,22	10,84	10,73
Metil éster C16:1	0,1	0,11	0,13
Metil éster C18:0	4,19	4,57	4,42
Metil éster C18:1	21,87	20,88	20,92
Metil éster C18:2	51,38	50,3	52,73
Metil éster C18:3	7,37	7,17	7,93
Metil éster C20:0	0,34	0,34	0,36
Metil éster C20:1	0,06	0,21	0,2

REFERENCIA	FAME 1	FAME 2	FAME 3
<i>Metil éster C22:0</i>	0,39	0,3	0,36
<i>No Identificados</i>	1,16	0,76	0,8
Éster metílico de ácido linoleico, EN 14103, %p/p	7,37		
Metanol, EN 14110, %p/p	<0,01		
Monoglicéridos, EN 14105, %p/p	0,63	0,62	
Diglicéridos, EN 14105, %p/p	0,14	0,26	
Triglicéridos, EN 14105, %p/p	<0,03	0,04	
Glicerol libre, EN 14105, %p/p	<0,001	0,06	
Glicerol total	0,18	0,2	
Metales del grupo I (Na + K), EN 14538, mg/Kg.			
<i>Sodio</i>	<0,5	< 0,1	
<i>Potasio</i>	0,9	< 0,1	
Metales del grupo II (Ca + Mg), EN 14538, mg/Kg.			
<i>Calcio</i>	<0,5	< 0,1	-
<i>Magnesio</i>	<0,5	< 0,1	-
Fósforo, UNE-EN 14107, mg/Kg.	<1,0	< 0,1	-

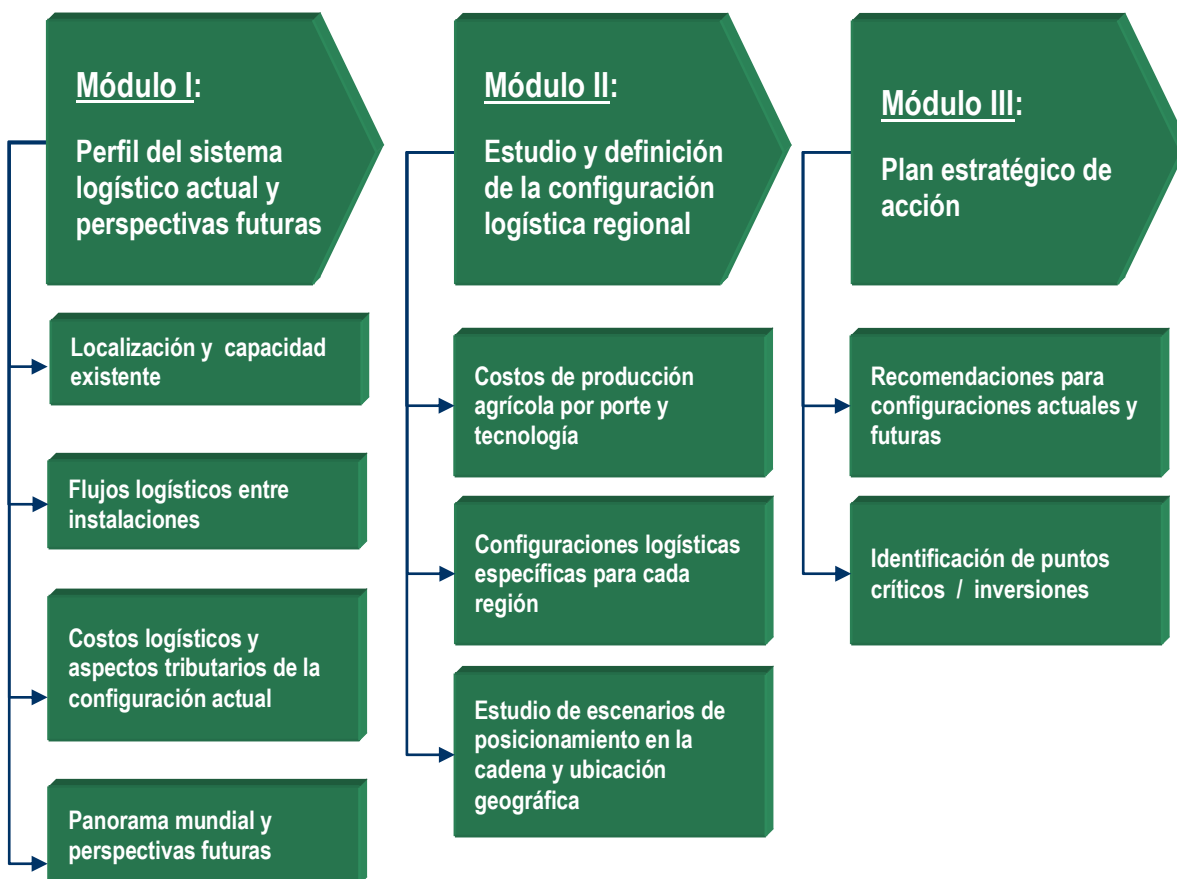
3 Aspectos logísticos de la cadena de producción del biodiesel

3.1 Introducción

La definición de aspectos logísticos y sus requerimientos van a necesitar un estudio estratégico de la condición de cada país incluyendo las motivaciones de cada país, los cultivos, las zonas, la distribución de demanda y producción, etc., que permitirán entonces identificar para cada país y sus condiciones la mejor estrategia de producción y transporte de biocombustibles.

Un ejemplo de estrategia exitosa para lograr este propósito es la seguida en el estudio sobre biodiesel en Brasil, realizado por el IBP² junto con la Universidad Federal do Río de Janeiro (UFRJ), cuya elaboración incluyó las siguientes etapas:

Figura 3.1.1.1: Etapas del estudio sobre biodiesel en Brasil (IBP/UFRJ)



El módulo I tuvo como objetivo mapear y avalar el perfil de las operaciones actuales, a través del entendimiento de los actores y sus papeles en la cadena de suministros, la infraestructura de producción existente, las regiones de cultivo y los flujos de carga. Esta etapa también incluyó la cuantificación de los costos logísticos de este sistema, en términos de transporte, existencias y almacenamiento.

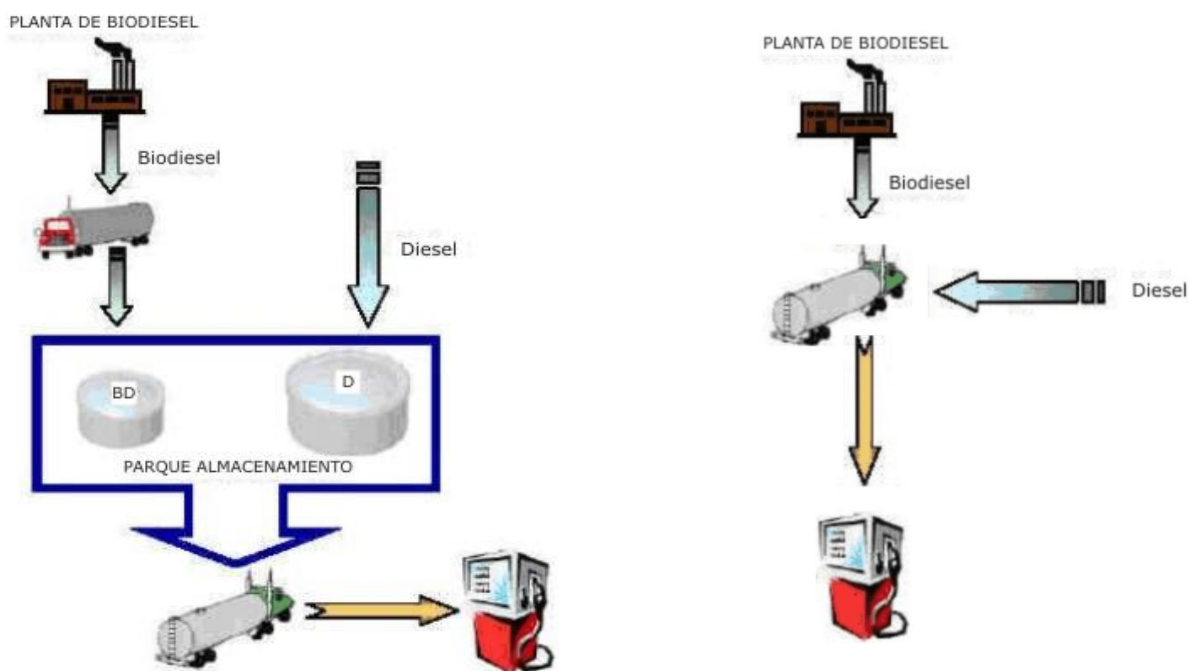
² Instituto Brasileiro de Petróleo, Gas y Biocombustibles, www.ibp.org.br

En el Módulo II fueron definidas las mejores configuraciones logísticas para el sistema actual de suministro del biodiesel para cada región del país, considerando las restricciones tecnológicas, el posicionamiento de ellos en la cadena y las oportunidades de reducción de los costos logísticos. También se identificaron las inversiones necesarias para la optimización de las cadenas actuales de suministro.

Ya el Módulo III consistió en la elaboración de recomendaciones sobre las mejores configuraciones logísticas, considerando las configuraciones de las cadenas de suministro, las incitativas de fomento agrícola, y los nuevos proyectos industriales (prensadoras y plantas de biodiesel). Esta etapa también incluyó el relevamiento de las necesidades de inversiones en recursos logísticos específicos que auxilien en la optimización de los flujos logísticos y la indicación de acciones para el sector.

En general, para el negocio petrolero la cadena logística del biodiesel se inicia a partir de la disponibilidad del B100. A continuación se presentan las dos posibilidades para dicho esquema:

Figura 3.1.2.1: Cadena de producción de biodiesel

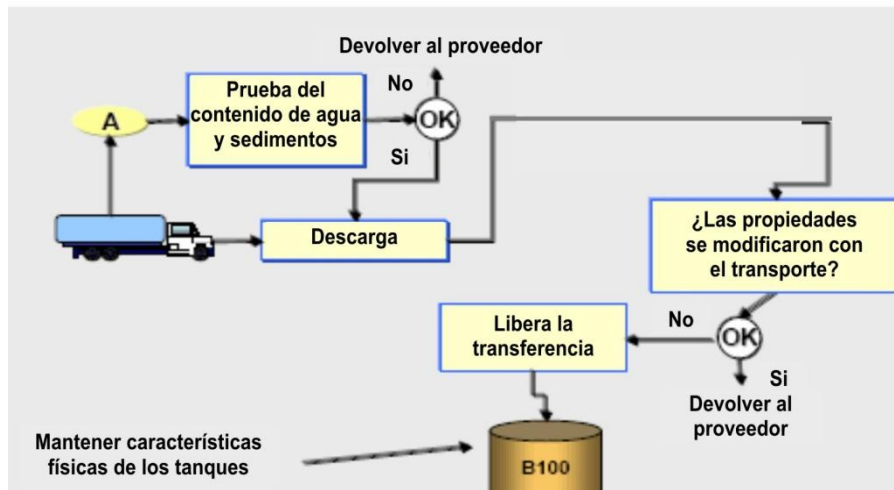


Fuente CNE (Comisión Nacional de Energía de España)

3.2 Recepción

El productor de B100 debe sellar el tanque de almacenamiento en su planta con calidad certificada, y adjuntar su certificado correspondiente (densidad, flash point, tenor de éster, etc.) al entregar el producto. No obstante, es recomendable que el receptor (en este caso, la empresa petrolera) realice controles rápidos adicionales al recibir el carrotanque: densidad, agua y sedimentos, color, aspecto, u otro ensayo de propiedades que considere que puedan haber sido afectadas durante su transporte.

Figura 3.2.1.1: Esquema para la recepción de B100



Fuente: Estudio IBP/UFRJ

3.3 Almacenamiento

La estabilidad del diesel y sus mezclas con biodiesel está relacionada con su estabilidad de almacenamiento a largo plazo (comúnmente llamada “estabilidad oxidativa”), y con su estabilidad a temperaturas elevadas en el sistema de combustible (comúnmente llamada “estabilidad térmica”). Los aceites y grasas vegetales contienen antioxidantes naturales, sin embargo, ciertas formas de procesamiento pueden eliminar estos antioxidantes naturales y así reducir su estabilidad. Ejemplos de este tipo de procesamientos son el blanqueo, desodorización, o destilación de grasas y aceites, en cuyos casos se aconseja la utilización de aditivos antioxidantes. A continuación se listan algunas consideraciones importantes para asegurar un adecuado almacenamiento del biodiesel:

1. **Evitar la exposición del combustible al calor, la luz, e incluso al oxígeno:** La estabilidad oxidativa del biodiesel está muy relacionada con el nivel de insaturación de los ácidos grasos que lo componen. Cuanto más saturados son dichos ácidos, más estable es el combustible. Las insaturaciones pueden reaccionar con el oxígeno y formar peróxidos que a su vez se transforman en ácidos, sedimentos, y gomas, y el calor y la luz solar aceleran este proceso.
2. **Almacenar mezclas diesel-biodiesel en lugar de B100:** El B100 es menos estable que sus mezclas con diesel, y las preocupaciones en climas fríos en torno al punto de niebla son menores con las mezclas que con el B100. El biodiesel podría solidificarse a bajas temperaturas mucho más fácilmente que el diesel, sin embargo, las mezclas con menos del 20% mantienen las mismas propiedades de fluidez en frío que el diesel, y por debajo del 5% prácticamente es igual al diesel.
3. **El monitoreo del número de acidez y la viscosidad del B100 al momento de su recepción y luego, a lo largo del tiempo, puede indicar si se está oxidando:** La pérdida de estabilidad oxidativa (envejecimiento) del biodiesel puede elevar su número de acidez, viscosidad, y formar gomas y sedimentos que tapan los filtros y reducen la vida útil de las bombas. Sin embargo, en algunos casos, la formación de depósitos a causa de la limpieza o disolución del B100 puede confundirse con la formación de gomas o sedimentos provenientes del envejecimiento del combustible. En ambos casos puede taparse el filtro, pero debe tenerse la precaución de saber diferenciar la causa correctamente. Por ejemplo, si el número de acidez del combustible cumple con la especificación entonces la formación de sedimentos probablemente se deba al efecto de limpieza y no al envejecimiento u oxidación del combustible.

4. Almacenar B100 en tanques de acero al carbono: Ciertos metales como el cobre, plomo, estaño, zinc, y sus aleaciones aceleran el proceso de degradación oxidativa del B100 por lo que no debe almacenarse en sistemas que contengan estos metales por largos períodos. Se pueden utilizar aditivos quelantes que desactiven dichos metales reduciendo o eliminando su impacto, sin embargo, se recomienda almacenar B100 en tanques de acero al carbono para evitar estos inconvenientes. Otros materiales como el aluminio, acero, teflón, viton, plásticos fluorados, nylon, y la mayoría de las fibras de vidrio también son compatibles con B100. Es recomendable establecer un programa de monitoreo para realizar inspecciones visuales mensuales de los materiales expuestos durante más de un año ya que todavía hay poca experiencia en el uso de B100. Por ejemplo, se sabe que el B100 puede desgastar, ablandar, o filtrarse a través de mangueras o sellos fabricados con elastómeros, gomas, y plásticos con la exposición prolongada. Materiales como las gomas de nitrilo, polipropileno, polivinilo, y tygon® son particularmente vulnerables al B100 (ver tabla 3.3.1). El vitón, teflón, y elaflex son materiales compatibles con B100 y que pueden utilizarse en mangueras. Para mezclas de 20% o inferiores no hay grandes dificultades de compatibilidad con materiales.

Tabla 3.3.1: Compatibilidad de elastómeros con biodiesel

Material	Compatibilidad
Buna-N	No recomendado
Butadieno	No recomendado
Butil	Efecto leve
Chemraz	Satisfactorio
Etileno Propileno EPDM	Efecto moderado
Fluorocarbono	Satisfactorio
Fluorosilicio	Efecto suave; incrementa hinchazón
Fluorosilicona	Efecto suave
Hifluor	Satisfactorio
Hypalon	No recomendado
Goma natural	No recomendado
Neopreno	No recomendado
Neopreno / Cloropreno	No recomendado
Nitrilo	No recomendado
Nitrilo, acetonitrilo	Efecto suave con B20, afecta hinchazón y resistencia a la rotura
Nitrilo hidrogenado	No recomendado
Nitrilo curado con peróxido	Efecto suave con B20, afecta hinchazón y resistencia a la rotura
Nordel	Efecto moderado a severo
Nylon	Satisfactorio
Perfluoro-elastómero	Satisfactorio
Polipropileno	Efecto moderado; incrementa hinchazón, reduce dureza
Poliuretano	Efecto leve; incrementa hinchazón
Estireno - butadieno	No recomendado
Teflón	Satisfactorio
Vitón	Satisfactorio; tipo de cura afecta la compatibilidad con biodiesel oxidado. Ver tipos específicos de vitón a continuación:
Vitón A-401C	Satisfactorio con metil-esteres de colza frescos; no recomendado para mezclas oxidadas B20 y superiores
Vitón F-605C	Satisfactorio con metil-esteres de colza frescos; no recomendado para mezclas oxidadas B20 y superiores
Vitón GBL-S	Satisfactorio con metil-esteres de colza frescos y con cualquier mezcla oxidada.
Vitón GF-S	Satisfactorio con metil-esteres de colza frescos y con cualquier mezcla oxidada.
Wil-Flex	Efecto moderado a severo

Fuente: Guía de Manejo y Uso de Biodiesel (4ª Edición, 2008), Junta Nacional de Biodiesel, EE.UU.

- 5. Almacenar B100 por no más de 6 meses a menos que se utilicen aditivos para estabilizarlo:** El biodiesel (B100 y sus mezclas) tiene un punto de inflamación más alto que el diesel. La norma ASTM D 4625 sugiere que el B100 menos estable podría ser almacenado hasta por 8 meses, mientras que el más estable podría almacenarse por un año o más. Sin embargo, no hay mucha experiencia de almacenaje de B100 por periodos mayores de seis meses.
- 6. Evitar contaminación con agua:** La contaminación biológica puede darse tanto en el diesel como en el biodiesel, y en ese caso se deberá controlar la contaminación del agua ya que los microorganismos que consumen hidrocarburos - ya sean hongos, bacterias o levaduras aeróbicas - (normalmente llamados HUM BUGS) suelen crecer en la interfase agua-combustible. Las colonias anaerobias, comúnmente reductoras del azufre, suelen crecer en los sedimentos depositados sobre las superficies de tanques y corroerlos. Para evitar la contaminación de agua se sugiere maximizar la relación altura / diámetro de los tanques de almacenaje, utilizar filtros secantes en las válvulas de alivio, y utilizar tanques de pequeño volumen. Adicionalmente, se podrían utilizar tanques de fondo cónico invertido para facilitar el drenaje de agua o utilizar biocidas (indistintamente para diesel o biodiesel ya que actúan en el agua).
- 7. Almacenar a una temperatura superior a su punto de escurrimiento:** El B100 puede almacenarse bajo tierra sin tomar medidas específicas en casi cualquier condición climática, sin embargo, sobre tierra puede llegar a necesitar aislamiento, agitación, calefacción, u otras medidas si la temperatura ambiente desciende por debajo de su punto de escurrimiento. Estos requerimientos aplican a cañerías, tanques, sistema de bombeo, y vehículos. Si la temperatura del biodiesel descendiese por debajo de su punto de escurrimiento, los cristales que comienzan a formarse deberían liquidificarse nuevamente si aumenta la temperatura del biodiesel. Sin embargo, ese proceso puede ser lento si el combustible se calienta muy lentamente o no lo suficiente. Estos cristales pueden decantar al fondo del tanque y formar una capa de gel. La agitación lenta puede evitar que se acumulen cristales en el fondo del tanque, e incluso ayudar a disolverlos. Si el B100 se ha gelificado completamente y debe ser rápidamente utilizado, puede convenir elevar su temperatura a aproximadamente 40°C para derretir aquellos componentes más saturados del biodiesel. Si se cuenta con más tiempo, se pueden utilizar temperaturas inferiores y darle tiempo a la mezcla para que llegue a su punto de niebla de equilibrio. La efectividad de los aditivos para flujo en frío depende del tipo de biodiesel, e incluso puede variar para un mismo tipo de biodiesel si el aceite del cual proviene fue pre-tratado o no. Por estas razones, es conveniente realizar ensayos en laboratorio para medir el comportamiento en frío utilizando las condiciones reales más desfavorables a las cuales se someterá el combustible en cada caso (temperaturas más bajas, combustible específico de invierno si corresponde, aditivo específico a utilizar).

3.4 Transporte

Al momento de transportar biodiesel es recomendable seguir las siguientes pautas:

1. Utilizar medios exclusivos para evitar cargas y materiales incompatibles, limpiarlos periódicamente, y drenar e inspeccionarlos en cada cambio de carga.
2. Asegurar que la carga previa y el residual sean de diesel u alguna otra sustancia aceptable (residuales de productos alimenticios, aceites crudos vegetales, gasolina, o lubricantes solo son aceptables si se realizó lavado previo).
3. Asegurar que no quede agua residual en el tanque
4. En caso de transportar biodiesel de sebo o palma se recomienda además evitar las bajas temperaturas (en función del punto de fluidez del biodiesel). En estos casos puede ser necesario aislar o calentar el medio de transporte del B100, o bien transportarlo ya mezclado con diesel.
5. En climas fríos se debe procurar evitar la obstrucción de los filtros en las bombas de carga de combustible debida a la cristalización de FAMES. Para ello, se puede filtrar la mezcla de biodiesel con

diesel antes de entregarla al tanque del cliente. En este caso se recomienda utilizar un filtro que, como mínimo, sea tan fino como los de los vehículos.

3.4.1 Inconvenientes en el transporte

El transporte de biodiesel en poliductos no es recomendable cuando también se transporta jet fuel en el mismo ducto. Lo mismo ocurre en caso de transportar biodiesel y Jet A1 en el mismo buque tanque. Esto se debe a que el FAME puede adsorberse en las paredes del ducto o tanque al entrar en contacto y luego desorberse al transportar otro combustible y contaminarlo. La IATA³ recomienda no sobrepasar las 5ppm de FAME en Jet A1 hasta tanto no concluyan los estudios que está llevando a cabo para evaluar contaminaciones superiores (de hasta 100ppm).

En caso de tener que transportar biodiesel en el mismo ducto o buque tanque que Jet A1, se recomienda tomar ciertas precauciones:

- Minimizar los tamaños de los lotes de Jet
- Corte de interfase modificado
- Controlar la secuencia de productos en el ducto
- Utilizar buffers (anteriores y posteriores) que no contengan FAME
- Luego de haber transportado B5 en un buque tanque, limpiar el mismo con agua caliente, y transportar otro producto sin FAME previo al transporte de Jet. En caso de haber transportado B100, se requerirán al menos 3 cargas previas más el lavado con agua caliente para que el tanque esté en condiciones de transportar Jet.

3.5 Mezcla de B100 y diesel

En general, la mezcla del biodiesel con el diesel es sencilla si se tiene en cuenta que cuanto más mezcla mejor, y que el biodiesel es levemente más denso que el diesel (peso específico 0,88 comparado con 0,85 del diesel). Antes de proceder a la mezcla siempre es recomendable conservar muestras de los combustibles de origen para poder realizar ensayos en caso de que surgiera algún inconveniente posterior con el comportamiento de la mezcla. Vale aclarar que el biodiesel es un combustible pensado para ser mezclado con diesel y no con gasolina. Existen tres formas diferentes de mezclar el biodiesel con el diesel.

1. Mezcla splash: se cargan separadamente el diesel y el biodiesel en un recipiente con relativamente poca mezcla durante la carga. El recipiente suele ser un camión tanque, o un camión de reparto de combustible, aunque también puede ser un barril. Una vez que los combustibles se encuentran en el recipiente, la conducción en carretera se considera suficiente agitación. Por medio de este procedimiento generalmente se logra una buena mezcla, sin embargo, si el biodiesel se carga en el recipiente antes que el diesel y la temperatura es muy baja puede no lograrse una buena mezcla.
2. Mezcla en el tanque: se cargan separadamente o conjuntamente el diesel y el biodiesel a una velocidad suficiente como para que se mezclen sin necesidad de recirculación o agitación adicional. En algunos casos este tipo de mezcla es similar a la anterior con la salvedad de que esta no necesita de la conducción en carretera, aunque, en otros casos, el tanque puede necesitar recirculación o mezcla adicional. Debido a que el diesel y el biodiesel se mezclan fácilmente, dependiendo de la forma en la que se cargan los combustibles y la geometría del tanque, entre otros, en muchos casos la mezcla en el tanque suele ser suficiente para lograr una mezcla homogénea.

³ International Air Transportation Association

3. Mezcla en línea: en este caso el biodiesel se agrega a una corriente de diesel de un ducto o manguera de forma que ambos combustibles se mezclan con el movimiento turbulento a lo largo del recorrido, o con la mezcla al momento de cargar el biodiesel. Este se carga lenta y continuamente a la corriente de diesel por medio de una línea de entrada o una “Y”, o de a pequeñas cantidades de forma pulsada en el tiempo de forma similar a como se agregan los aditivos al diesel.

La mejor opción para mezclar biodiesel con diesel depende del volumen de combustible, la inversión, y las necesidades. Pequeños volúmenes, como ser barriles, generalmente se mezclan por splash o dispersando B100 de forma homogénea sobre la superficie del diesel en el tanque de almacenamiento. Si no se puede dispersar de forma homogénea, o el mero agregado del biodiesel no es suficiente como para mezclarlo completamente, puede requerirse agitación adicional. El B20 suele mezclarse en camiones tanque con carga inferior. Se carga primero el biodiesel y segundo el diesel, y la mezcla continua luego durante el recorrido del camión hasta el punto de entrega, y al bombear el combustible desde el camión al tanque de almacenamiento en el punto de consumo. Estas instancias de mezcla suelen ser suficientes, salvo en climas muy fríos (cuando la temperatura ambiente es inferior al punto de gel del B100) en los que se aconseja cargar el camión tanque primero con la mitad del diesel, segundo el biodiesel, y tercero el resto del diesel. De esta forma se evita que el B100 gelifique al ser cargado en primer lugar y entrar en contacto con las paredes frías del tanque del camión. La mezcla en línea requiere dos bombas y un sistema de inyección dual. Es el procedimiento de mezcla más exacto y confiable para garantizar un porcentaje de mezcla específico. Estos sistemas se dimensionan para un único porcentaje de mezcla, por lo que si se requieren dos niveles diferentes éstos deben mezclarse en diferentes instancias.

Existen dos ensayos simples para corroborar que el biodiesel y el diesel han sido mezclados lo suficiente dentro de un tanque. Se toman tres muestras: una de la zona superior, otra del medio, y otra de la zona inferior del tanque, y luego:

1. Se analiza el porcentaje de mezcla en cada muestra por medio de espectroscopia infrarrojo (EN 14078) o por medida de la densidad o peso específico. Si la variación de los resultados del peso específico es menor o igual a 0.006 la mezcla probablemente sea suficiente.
2. Se colocan las muestras en un congelador con termómetro y se controlan cada 5 minutos hasta que alguna de las muestras comience a cristalizar. Se registra dicha temperatura y se continúan controlando las muestras cada 2 minutos hasta que todas hayan comenzado a cristalizarse. Se comparan las temperaturas de cristalización de las 3 muestras y todas deben encontrarse en un rango de 3°C, de lo contrario el combustible requerirá más agitación.

3.5.1 Mezcla en refinerías o terminales

El esquema de distribución más frecuente (debido a que los centros de producción de biodiesel y las refinerías suelen tener emplazamientos diferentes) consiste en transportar el biodiesel y el diesel por separado a una terminal intermedia donde se cargan los camiones-cisterna para su posterior distribución capilar, en lugar de transportar el biodiesel a la refinería para su mezcla con diesel. Sin embargo, no hay impactos negativos para la operación de la refinería si allí se realiza la mezcla a excepción de la necesidad de contar con un tanque específico para B100. Más aún, a continuación se listan ciertas ventajas de la mezcla en refinería frente a la mezcla en terminal:

- El hidrotreamiento del diesel para bajar su contenido de azufre disminuye su lubricidad, pero el biodiesel con el que se mezcla la mejora, evitando así el uso de aditivos para mejorar la lubricidad en la refinería y cumplir con la reglamentación a la salida de la refinería, si así se exigiera.



- Usualmente el laboratorio de una refinería es más completo que el de una terminal, por lo que en una refinería se puede controlar mejor la calidad del biodiesel que en una terminal.
- En caso de detectar biodiesel fuera de especificación, será más difícil corregir dicha desviación en una refinería que en una terminal.
- Dependiendo del tipo de materia prima utilizada para producir el biodiesel, el mismo podría descender el número de cetano de la mezcla respecto al diesel, requiriendo así el agregado de aditivos en la refinería para incrementarlo.

3.6 Instalaciones necesarias

A continuación se listan los requerimientos de instalación para la recepción de B100, su mezcla con diesel y distribución:

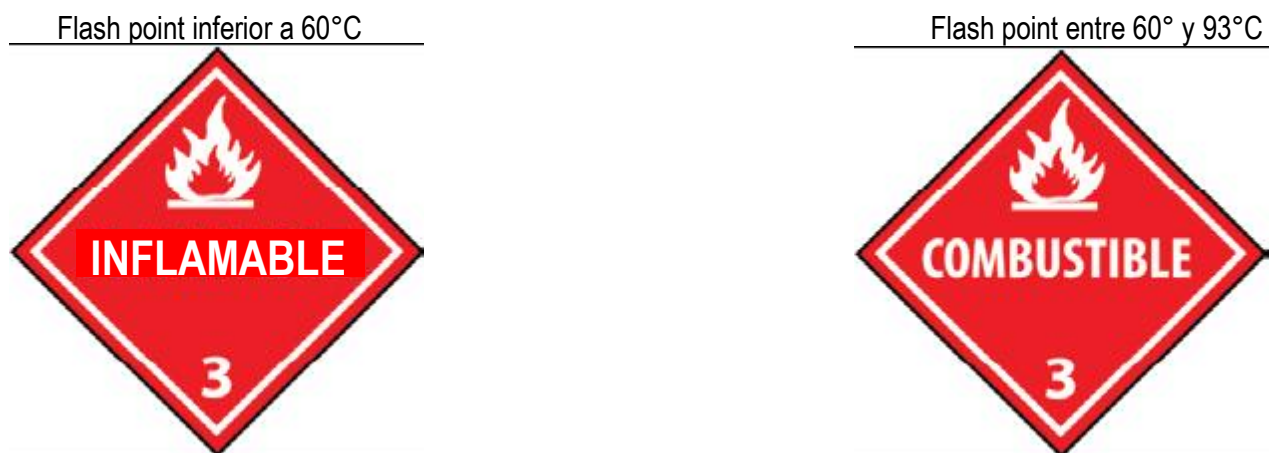
- Sistema de recepción del carro tanque de B100: plataforma de carga y descarga.
- Tanque específico para B100
- Sistema de circulación/mezcla en tanque.
- Sistema de calentamiento en caso de que se requiera para mantener fluido el biodiesel.
- Mezcla en camión: sistema de dosificación y medida.
- Equipos de laboratorio específicos necesarios para controlar el B100 y sus mezclas con diesel.

4 Aspectos de ambiente, salud y seguridad del manejo de biodiesel

El B100 es combustible, y como tal se deben tomar las precauciones habituales para el manejo seguro de este tipo de sustancias, sin embargo, su punto de inflamación (o flash point) es superior a 100°C, por lo que se considera de bajo riesgo en comparación con sus mezclas con diesel y/o keroseno. Estos últimos son altamente inflamables (flash point de 52° a 96°C en el caso del diesel y de 38° a 72°C en el caso del keroseno), haciendo que la mezcla con biodiesel tenga un punto de inflamación intermedio.

A modo de referencia, en EE.UU. no se exige señal de advertencia alguna para el transporte de B100, pero sí para el transporte de sus mezclas si su punto de inflamación es inferior a 93°C según se muestra en la figura a continuación:

Figura 4.1.1.1: Señales de advertencia para el transporte de B100



Fuente: Guía de Manejo y Uso de Biodiesel (4ª Edición, 2008), Junta Nacional de Biodiesel, EE.UU.

De incendiarse el B100, el mismo puede extinguirse con químicos en seco, espuma, halón, CO₂, o agua, aunque el chorro de agua podría dispersar el B100 y el fuego consigo.

Los metil-ésteres son excelentes solventes de sedimentos, y han sido utilizados como limpiadores con bajo contenido de COV (compuestos orgánicos volátiles) durante décadas. Cualquier derrame de biodiesel que ocurra debe limpiarse de inmediato ya que puede disolver ciertos materiales, pinturas, e incluso etiquetas que puedan estar en contacto o cerca del combustible.

Se debe tener la precaución de lavar con agua y jabón y secar en ambiente ventilado los trapos que se embeban en B100 antes de desecharlos ya que, de lo contrario, podrían incendiarse espontáneamente.

5 Aspectos económicos del biodiesel

La irrupción de los biocombustibles en el negocio de las compañías petroleras, como consecuencia de normativas legales que han obligado u obligarán a estas a mezclar un porcentaje de los mismos con combustible fósil, han obligado a las mismas a posicionarse en este nuevo escenario.

En cada uno de los países en los que se implementen normativas sobre el uso de biocombustibles, en particular con el biodiesel, los refinadores podrán tener la posibilidad de integrarse en toda la cadena de valor de los biocombustibles o simplemente participar solo del último eslabón de la misma.

De la decisión estratégica que se adopte, dependerán las inversiones necesarias para llevar adelante estos proyectos. Si la decisión fuera la de integración en toda la cadena de valor del biodiesel, ello podrá implicar involucrarse en actividades como: a) canje de granos por productos petroleros (venta de diesel y lubricantes a agricultores que pagan estos productos con granos), b) molienda de estos granos para obtener aceite (participación accionaria en empresas de molienda o pago de una tarifa a terceros para que realicen esta tarea) c) procesamiento por terceros del aceite propio para obtener biodiesel o procesamiento en una planta propia o asociada, y d) mezclado del biodiesel propio con diesel en refinerías o terminales de despacho.

En este esquema de integración, la inversión estará asociada al montaje de una nueva planta para producción de biodiesel o a participaciones accionarias en la molienda de granos y/o producción de biodiesel y a las necesarias para la recepción, almacenaje, y mezclado de biodiesel con diesel en refinerías o terminales de despacho.

Respecto de las inversiones para el montaje de una nueva planta de producción de biodiesel, la escala de la misma es un tema muy importante. Pequeñas escalas (<100.000 tm/año) no serían rentables. Escalas mayores (200.000 tm/año) requerirían inversiones del orden de los 40 millones de dólares. La economía de escala y un buen precio de mercado para los subproductos del proceso mejoran la rentabilidad de estos proyectos.

Las inversiones y costos asociados a la estrategia de participar en el último eslabón de la cadena del biodiesel, es decir su mezcla con el producto fósil, pueden ser del orden de 100 US\$/m³ de biodiesel. En este valor se incluyen los costos logísticos para transportar el biodiesel desde el productor hasta las instalaciones de mezcla, los costos de capital para la recepción, almacenamiento y mezcla del biodiesel con diesel, el capital de trabajo y los costos para control de calidad de recepción y despacho.

Los costos de producción de biodiesel y los precios de venta pueden variar considerablemente dependiendo del entorno local que se considere. En Brasil, el IBP junto con la Universidad Federal de Río de Janeiro llevaron a cabo un estudio exhaustivo sobre biodiesel en Brasil en el 2007, en el cual se calcularon los costos de producción de biodiesel para diferentes tipos de oleaginosas, resultando en aproximadamente 700 US\$/m³ para la soja. El precio promedio del biodiesel es de aproximadamente 1.000 US\$/m³ (establecido por la ANP⁴).

En Colombia existe una estructura de precios regulada para la producción, distribución y venta de la mezcla de diesel con biodiesel (ver Resolución 18 1780 de 29/12/2005). Dicha estructura fija el ingreso techo al productor en base al precio de paridad de importación del diesel (factor de producción eficiente del biodiesel fijado a su vez en base “a la cotización del índice 2 US Golf Coast Waterborne”), y la tasa representativa del

⁴ Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural, y Biocombustibles, www.anp.gov.br

mercado. El ingreso piso al productor se fija en base al precio paridad exportación del aceite de palma, el factor de producción eficiente del biodiesel (US\$ 151/Ton, que corresponde al costo promedio local de producción de biodiesel a partir de palma), y la tasa representativa del mercado. También establece el precio máximo de venta al distribuidor mayorista y de venta en planta de abastecimiento mayorista.

En general todos los países que han buscado incrementar la participación de los biocombustibles en su matriz energética, lo han hecho apalancando las inversiones y costos a asumir por las empresas involucradas, a través de beneficios fiscales e impositivos. Desde un punto de vista del balance producción-demanda de diesel, para aquellos países con déficit en su producción respecto de la demanda país, la incorporación de un volumen adicional de biodiesel al pool de diesel permitirá a las refinerías (sobre todo las pequeñas) postergar o evitar inversiones para incrementar la producción de diesel y, a nivel país, sustituir importaciones y con ello mejorar la economía del sistema.

6 Aspectos reglamentarios de los biocombustibles

Cada país es autónomo en establecer sus políticas y normas específicas para incentivar el desarrollo de los biocombustibles. A través de una recopilación y análisis de los aspectos más relevantes de las legislaciones sobre biocombustibles (calidad, impuestos/fiscalización, adulteración, etc.) vigentes en la región, se pretende que este capítulo sirva de guía para aquellos países y empresas que quieren ingresar al mercado de los biocombustibles.

En abril de 2007, OLADE publicó el informe “Análisis de legislación sobre biocombustibles en América Latina”. El mismo no refleja la posición de ARPEL ni de ninguno de sus miembros, pero debido a que contribuye en gran parte a los objetivos del presente capítulo, éste último se limitará a complementar parte de la información allí contenida.

6.1 Argentina

El marco legal en Argentina está regido por la Ley 26093/2006 “Biocombustibles: Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables”, que comprende aspectos como: régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles, autoridad de aplicación, funciones, comisión nacional asesora, habilitación de plantas productoras, mezclado de biocombustibles con combustibles fósiles, sujetos beneficiarios del régimen promocional, e infracciones. Esta Ley fue reglamentada por el Decreto 109/2007 (Biocombustibles: Ley N° 26093 – Alcances), que detalla las actividades alcanzadas por los términos de la Ley 26.093, la autoridad de aplicación, funciones, comisión nacional asesora, habilitación de plantas productoras y régimen promocional. El 2 de enero de 2008 se promulgó la Ley 26334 que establece el régimen de promoción de la producción de bioetanol (bajo las disposiciones de la Ley 26093). Complementando la Ley 26093, el 13 de Noviembre de 2008 se establece mediante la Resolución 1293/2008, el mecanismo de selección, aprobación y orden de prioridades de proyectos de producción de bioetanol, por el cual se otorgarán los beneficios promocionales del Régimen de Regulación y Promoción para la Producción y Uso Sustentables de Biocombustibles. Paralelamente, en la misma fecha, la Secretaría de Energía determinó, a través de la Resolución 1294/2008, el procedimiento para establecer el precio de adquisición del bioetanol, destinado a la mezcla para la producción y uso sustentable de biocombustibles creado por la Ley N° 26.093. Las especificaciones de calidad que deben cumplir los biocombustibles, de conformidad con el Decreto 109, se determinan en la Resolución SE 1283/2006 para el biodiesel y la Resolución 1295/2008 para el bioetanol.

6.2 Brasil

El PNPB - *Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel* - está regido por la Ley 11.097, del 13 de enero de 2005, la cual establece porcentajes mínimos de mezcla de biodiesel con diesel, conforme se ilustra a continuación:



A partir del 1 de Julio de 2009, por medio de la Resolución CNPE n°2, se incrementó el porcentaje mínimo obligatorio a 4%. Cabe también destacar la Ley 11.116, publicada el 18 de mayo de 2005, que dispone el registro especial del productor o importador de biodiesel y la incidencia de la contribución para el PIS/Pasep (Programas de Integración Social y de Formación del Patrimonio del Servidor Público) y de la Cofins (Contribución para financiamiento de seguridad social) sobre los ingresos derivados de la venta de ese producto. A continuación se muestran las otras normas y legislaciones del marco regulatorio del biodiesel en Brasil.

Decretos

- [Decreto N° 6.458, 14 de mayo de 2008](#)
Amplió las opciones de materias primas de agricultura familiar para la región norte y nordeste y semiárido y alteró el PIS/CONFINS para esas regiones.
- [Decreto N° 5.457, 6 de junio de 2005](#)
Redujo las alícuotas de contribución para el PIS/PASEP y de COFINS incidentes sobre la importación y la comercialización de biodiesel.
- [Decreto N° 5.448, 20 de mayo de 2005](#)
Reglamentó el § 1 del artículo 2 de la Ley N° 11.097, del 13 de enero de 2005, que dispone la introducción del biodiesel en la matriz energética brasilera, y otorga otras providencias.
- [Decreto N° 5.298, 6 de diciembre de 2004](#)
Alteró la alícuota del impuesto sobre productos industrializados incidente sobre el producto que menciona.
- [Decreto N° 5.297, 6 de diciembre de 2004](#)
Dispuso los coeficientes de reducción de las alícuotas de contribución para el PIS/PASEP y de COFINS, incidentes en la producción y la comercialización de biodiesel, los términos y las condiciones para la utilización de las alícuotas diferenciadas, y otorga otras providencias.
- [Decreto, 23 de diciembre de 2003](#)
Creó la Comisión Ejecutiva Interministerial encargada de la implementación de las acciones dirigidas a la producción y al uso de aceite vegetal - biodiesel como fuente alternativa de energía.
- [Decreto, 2 de julio de 2003](#)
Creó el Grupo de Trabajo Interministerial encargado de presentar estudios sobre la viabilidad de utilización de aceite vegetal - biodiesel como fuente alternativa de energía, proponiendo, en caso necesario, las acciones necesarias para el uso de biodiesel.

Disposición (Portaria)

- [Disposición MME 483, 3 de octubre de 2005](#)
Estableció las directrices para la realización por parte de la ANP de licitaciones públicas de adquisición de biodiesel.
- [Disposición ANP 240, 25 de agosto de 2003](#)
Estableció la reglamentación para la utilización de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos no especificados en el país.

Resoluciones

- [Resolución CNPE n° 02, 18 de mayo de 2009](#)
Aumentó de 3% a 4% el porcentaje obligatorio de mezcla de biodiesel con diesel.
- [Resolución ANP n° 07, 19 de marzo de 2008](#)
Alteró la especificación para comercializar biodiesel.



- [Resolución CNPE n° 3, 23 de septiembre de 2005](#)
Redujo los plazos para el cumplimiento del porcentaje mínimo obligatorio de agregado de biodiesel al diesel, determina la adquisición del biodiesel producido por productores con sello "Combustible Social", por intermedio de licitaciones públicas.
- [Resolución ANP n° 42, 24 de noviembre de 2004](#)
Estableció la especificación para la comercialización del biodiesel que podrá ser adicionado al diesel en una proporción del 2% en volumen.
- [Resolución ANP n° 41, 24 de noviembre de 2004](#)
Estableció la regulación y obligatoriedad de autorización de la ANP para el ejercicio de la actividad de producción de biodiesel.
- [Resolución BNDES n° 1.135 / 2004](#)
Asunto: Programa de Apoyo Financiero a Inversiones en Biodiesel en el marco del Programa de Producción y Uso de Biodiesel como Fuente Alternativa de Energía.

Instrucción Normativa

- [Instrucción Normativa n° 02, 30 de septiembre de 2005](#)
Dispuso los criterios y procedimientos relativos al enmarcamiento de proyectos de producción de biodiesel en el sello "combustible social"
- [Instrucción Normativa n° 01, 5 de julio de 2005](#)
Dispuso los criterios y procedimientos relativos a la concesión del uso del sello combustible social.
- [Instrucción Normativa SRF n° 628, 2 de marzo de 2006](#)
Aprobó la opción aplicable por el Régimen Especial de Cálculo y Pago de la Contribución para el PIS/Pasep y de la Cofins incidentes sobre Combustibles y Bebidas (Recob)
- [Instrucción Normativa SRF n° 516, 22 de febrero de 2005](#)
Dispuso el Registro Especial al que están sujetos los productores y los importadores de biodiesel y otorga otras providencias.

El etanol fue adoptado en Brasil como parte de la mezcla carburante en 1931, cuando se reglamentó su uso con el decreto de ley n° 19.717, del 20 de febrero de 1931. En aquel momento el límite fijado para la mezcla carburante de alcohol anhidro fue de 0 a 5%. En 1976, en plena crisis del petróleo, el porcentaje de mezcla carburante llegó a variar entre 10% a 15% y posteriormente de 20% a 25%, límites adoptados actualmente y determinados por la ley n° 10.464, artículo 16 del 25 de mayo de 2002. Se pueden consultar otros ítems de la legislación de etanol en el sitio web de la ANP (Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles), órgano regulador de las actividades que integran la referida industria en Brasil, o del CIMA (Consejo Interministerial del Azúcar y del Alcohol), ente responsable de la aprobación de los programas de producción y uso de alcohol etílico combustible en el país, estableciendo los respectivos valores financieros unitarios y costos máximos.

6.3 Colombia

El Decreto 4299 de 2005 tiene por objeto establecer los requisitos, obligaciones y el régimen punitivo, aplicables a los agentes de la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo y mezclas con biocombustibles. Igualmente se establece definiciones tales como: alcohol carburante, almacenador, certificación, certificado de conformidad, combustibles básicos, comercializador industrial, distribuidor mayorista, distribuidor minorista, estación de servicio, evaluación de la conformidad, entre otras. El Decreto 2629 de 2007, establece disposiciones para promover el uso de biocombustibles en el país, así

como medidas aplicables a los vehículos y demás artefactos a motor que utilicen combustibles para su funcionamiento. En este Decreto se define que a partir del 1° de enero del año 2012 el parque automotor nuevo y demás artefactos nuevos a motor, que requieran para su funcionamiento gasolinas, que se produzcan, importen, distribuyan y comercialicen en el país, deberán estar acondicionados para que sus motores sean flex-fuel como mínimo al 20% (E-20), es decir que puedan funcionar normalmente como mínimo utilizando indistintamente gasolinas básicas o mezclas compuestas por 80% de gasolina básica de origen fósil con 20% de alcohol carburante (motores flex-fuel al 20% E-20). A partir del 1° de enero del año 2012 el parque automotor nuevo y demás artefactos nuevos a motor, que requieran para su funcionamiento diesel, que se produzcan, importen, distribuyan y comercialicen en el país, deberán estar acondicionados para que sus motores utilicen como mínimo un B-20, es decir que puedan funcionar normalmente como mínimo utilizando indistintamente diesel de origen fósil o mezclas compuestas por 80% de diesel de origen fósil con 20% de biocombustibles para uso en motores diesel. Finalmente regula que cuando a juicio del Gobierno Nacional se presenten situaciones excepcionales de interés social, público y/o de conveniencia nacional, podrá autorizar el uso paralelo de otro tipo de combustibles y/o de vehículos y motores. El Decreto 2328 de 2008 crea la Comisión Intersectorial para el Manejo de Biocombustibles, la cual está conformada por el Ministerio de Agricultura, Minas y Energía, Ambiente, Transporte, Comercio y el Director Nacional de Planeación. Entre sus funciones están: coordinar el proceso de formulación e implementación de políticas en materia de biocombustibles, que adopten, formulen y ejecuten los diferentes organismos y entidades del estado y concertar acciones para promover el desarrollo y la innovación en la producción y manejo de biocombustibles.

6.4 Perú

El marco legal en el Perú se da con la Ley N° 28054 “*Ley de Promoción del mercado de Biocombustibles*” publicada el 7 de agosto de 2003, que comprende aspectos para promover el mercado de los biocombustibles, con el objetivo de fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, disminuir la contaminación ambiental, así como buscar fuentes energéticas renovables. El Reglamento de dicha ley, D.S. N° 013-2005-EM, publicado el 13 de marzo de 2005, establece parámetros para la producción y comercialización de biocombustibles: el porcentaje, el cronograma de aplicación y uso de alcohol carburante (7.8% en las gasolinas) y de biodiesel (de 2 a 5 % para Diesel N° 01 y N° 02). Ambas aplicaciones se efectuarían a partir del 30 de junio de 2006 por sectores del país y concluirían el 1 de enero de 2010 con la comercialización en todo el país. El reglamento para la comercialización de biocombustibles D.S. N° 02-2007-EM, publicado el 20 de abril de 2007, fija el porcentaje de mezclas, cronograma de comercialización de biodiesel B100, diesel B2 y B5, la obligatoriedad de uso de diesel B2 a partir del 1 de Enero de 2009 y de alcohol carburante a partir del 1 de Enero de 2010. Mediante Resolución Ministerial N° 165-2008-MEM-DM se establecieron disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para diesel B2, B5 y B20. El 27 de Diciembre de 2008, mediante el Decreto Supremo N° 064-2008-EM se modifica el reglamento de los biocombustibles en lo referente a la fiscalización, comercialización mayorista y lugares de mezcla.

7 Experiencias con biocombustibles en la región

Este capítulo tiene como objetivo presentar lecciones aprendidas, casos de estudio, pruebas de campo de desempeño de vehículos, eventos no exitosos y razones de los mismos, relacionados con los biocombustibles en América Latina y el Caribe. A continuación presentamos dos experiencias, y esperamos que los miembros de ARPEL continúen intercambiando experiencias adicionales de este tipo a través del Portal de ARPEL, y en particular a través del Foro Virtual de ARPEL sobre Biocombustibles⁵.

7.1 Proyecto AGROPALMA

Un ejemplo diferente de producción de biodiesel es el proceso desarrollado por el profesor Donato Aranda, de la escuela de Química de la Universidad Federal de Río de Janeiro – UFRJ, que consiste en la esterificación de los ácidos grasos presentes en la palma, según se detalla a continuación.

Esta invención está relacionada con el proceso catalítico, y presenta los rangos de condiciones óptimas de reacción en términos de temperatura, presión, tiempo de reacción, y concentración de reactivos, para la transformación eficiente de los ácidos grasos presentes en los granos de palma en ésteres metílicos o etílicos. Además, se refiere al uso de catalizadores sólidos con sitios ácidos para la esterificación con alcohol de los ácidos grasos libres provenientes de los granos de palma.

En este proyecto se utilizan catalizadores ácidos sólidos para la esterificación de mezclas de ácidos grasos de palma, definidos como ácidos carboxílicos de cadenas de 16 a 18 átomos de carbono con o sin dobles enlaces entre los carbonos. Estos ácidos grasos pueden ser esterificados con alcoholes metílico o etílico. El uso de catalizadores ácidos sólidos en este proceso de esterificación de mezclas de ácidos grasos presupone la existencia de sitios ácidos capaces de promover la reacción. Además, en este proyecto se demuestra la esencial importancia de agregar alcohol en proporción mayor a la estequiométrica.

Ante la situación actual de homologación internacional del biodiesel, el metanol y etanol son los principales alcoholes utilizados. Sin embargo, se pueden utilizar otros productos tanto para la formación de biodiesel como para la formación de aditivos para mejorar la lubricidad, el índice de cetano, o incluso como tensoactivos para mezclas de combustibles polares y apolares (por ejemplo, mezclas alcohol - diesel). Por lo tanto, los ésteres formados pueden ser usados también como solventes, tensoactivos, o intermediarios de tensoactivos o detergentes.

Con el fin de obtener altas conversiones y alta selectividad al éster, se deben utilizar relaciones molares de alcohol-ácido graso de 3 a 15, y más preferentemente entre 6 y 12. En este medio reactivo se necesita contar con un catalizador que promueva la reacción de esterificación de los ácidos grasos a la menor temperatura posible, de forma que la reacción sea económicamente viable y que no haya descomposición térmica de los reactivos. El proceso involucra temperaturas entre 6° y 200°C, siendo el rango preferido entre 120° y 170°C.

La presión alta favorece la reacción, pero no es indispensable. Para alcoholes más volátiles, como metanol o etanol, el rango de temperatura reactivo descrito anteriormente hace que la presión de proceso esté usualmente por encima de la presión atmosférica. Las reacciones involucran componentes en fase líquida y sitios activos localizados entre las partículas del catalizador sólido, y consecuentemente sujetas a las

⁵ Para participar del Foro favor contactar al Administrador del Portal de ARPEL, administrador@arpel.org.uy

limitantes de la transferencia de masa. Se debe asegurar una agitación suficiente para minimizar este problema. Velocidades de agitación entre 400 y 1500 rpm son adecuadas para este fin.

Puede utilizarse cualquier catalizador sólido térmicamente estable y con acidez de Bronsted y/o Lewis bajo las condiciones de reacción. Los catalizadores preferidos son los siguientes: sulfato de zirconio (contenido de azufre entre 3% y 6%) con una superficie entre 30 y 200 m²/g pre-calcinada a una temperatura entre 300°C y 800°C; zeolitas con hidrogeno como cationes de compensación con una relación molar sílice – aluminio de entre 4 y 75 y una superficie de 200 a 800 m²/g; o cloruro de aluminio súper anhidro o con soporte químico.

El proceso de esterificación de ácidos grasos en catalizadores heterogéneos puede realizarse por lotes, en un reactor continuo de mezcla perfecta, o en un reactor de lecho fijo. En el caso de utilizar sistemas continuos el tiempo de reacción relacionado con el ácido graso es de 1 a 20 min., siendo de 3 a 15 min. el lapso recomendado.

7.2 Pruebas de larga duración de mezclas diesel-biodiesel

El desarrollo de los biocombustibles en Colombia, en especial el del biodiesel, ha involucrado a varios sectores tales como el sector agroindustrial, de transporte y de distribución de combustibles. Es así como en junio del año 2005 se firmó un convenio de cooperación técnica entre ECOPETROL – ICP y Cenipalma cuyo objetivo fue “Desarrollar conjuntamente esfuerzos para definir la caracterización físico química de las mezclas de aceite de palma y biodiesel con diesel; la evaluación de las mezclas en motores y vehículo de prueba; y la realización de pruebas de larga duración con flotas de vehículos”.

Los resultados de la primera etapa, realizados en laboratorio, demostraron que el biodiesel de palma puro o en mezclas con el combustible diesel presenta un buen comportamiento en el motor y que cuando se utiliza disminuyen apreciablemente las emisiones de material particulado, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono. La segunda etapa de este proyecto fue diseñada para validar los resultados obtenidos en la etapa 1 realizando pruebas de larga duración (100.000 Km.) con mezclas de diesel y biodiesel de aceite de palma, las cuales permitieran evaluar además del desempeño en el motor, el efecto que tiene el uso del biodiesel de palma a través del tiempo en los componentes del sistema de inyección que están en contacto con el combustible.

Realizar estas pruebas en la ciudad de Bogotá, a una altura de 2600 metros sobre el nivel del mar, permite adicionalmente evaluar el efecto de la altura en el desempeño y en las emisiones de los motores diesel cuando se utilizan las mezclas diesel – biodiesel de palma desde el 5 hasta el 50%. Para ello se usaron 12 buses del sistema de transporte masivo de la capital, para evaluar dos buses con cada una de las siguientes mezclas: 0, 5, 10, 20, 30 y 50%.

7.2.1 Funcionamiento de la estación de almacenamiento y mezcla de combustibles

7.2.1.1 Diseño y construcción

Con el objetivo de facilitar el suministro de combustible a los buses de la prueba fue necesario realizar la construcción de una estación de almacenamiento de combustibles que permitiera suministrar la mezcla definida de diesel-biodiesel de palma en proporción de 5, 10, 20, 30 y 50% a los vehículos seleccionados.

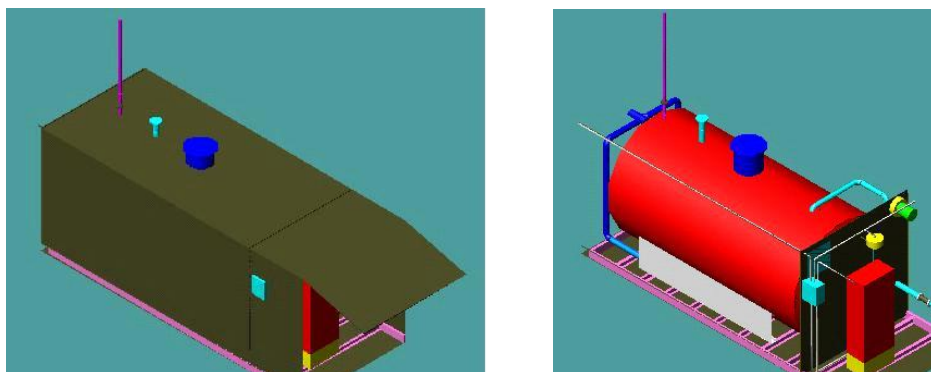
El diseño de la estación de almacenamiento y mezcla contaba con 2 tanques de 3000 galones de capacidad, uno de ellos destinado al almacenamiento de biodiesel y otro al almacenamiento de diesel. El diseño contaba también con cuatro tanques de 1000 galones de capacidad para el almacenamiento de las mezclas diesel - biodiesel de palma al 5, 10, 20 y 30% y un tanque de 3000 galones para el manejo del producto no conforme.

Las unidades funcionales de la estación de almacenamiento y mezcla se describen a continuación:

7.2.1.1.1 Almacenamiento de combustibles

El diseño de la planta cuenta con dos tanques de almacenamiento y estos a su vez cuentan con un contenedor externo (ver Figura 7.2.1.1). El contenedor externo funciona como dique en caso de que se presente algún derrame de combustible, con una capacidad de retención del 137% con respecto a la capacidad nominal del tanque.

Figura 7.2.1.1: Vista externa e interna de los tanques de almacenamiento de combustibles y sus contenedores.



Los tanques de almacenamiento de combustible están contruidos de acuerdo con lo establecido en la norma API 650. Cada tanque tiene una capacidad nominal de 5.873 galones americanos, de los cuales sólo se permite trabajar con una capacidad útil de aproximadamente 4.200 galones. Cada uno de los tanques está acondicionado para que puedan realizarse diferentes actividades, tales como: labores de inspección y mantenimiento (correctivo o preventivo), control de inventarios y detección de fugas. Asimismo cuentan con: sistema de alarmas de llenado, salida de vapores y líneas de tubería para entrada y salida de combustible. Como el biodiesel de palma puede solidificarse a temperaturas inferiores a 14°C, el contenedor del tanque de biodiesel de palma fue acondicionado con un sistema de calentamiento del aire interno, con el objetivo de que la temperatura del contenedor se mantenga entre 20°C y 25°C, temperatura a la cual se garantiza que el producto permanece líquido durante el almacenamiento.

7.2.1.1.2 Sistema de recibo y conducción de combustibles.

Para evitar la contaminación entre productos, se diseñó el sistema de recibo y conducción de combustibles de forma que permita un manejo independiente de cada uno de los combustibles. En el punto de recepción de combustibles, se cuenta con elementos bridados y acoples rápidos que garantizan la hermeticidad de la unión y disminuyen al máximo los riesgos de derrame de producto. Además como medida de prevención, en el caso de que ocurra una falla en alguna de las bombas, el diseño permite que la planta pueda operar con una sola



bomba. La línea destinada para el biodiesel de palma cuenta con aislamiento en fibra de vidrio y un sistema de calentamiento eléctrico, el cual permite calentar la tubería en caso de que sea necesario.

7.2.1.1.3 Sistema de mezclado de diesel – biodiesel de palma y despacho de combustibles.

La mezcla de combustible diesel y biodiesel de palma se efectúa en línea por medio de un surtidor de combustible tipo blender. Este cuenta con dos líneas de entrada, una proveniente del tanque de diesel y otra del tanque de biodiesel, a continuación dos válvulas electrónicas proporcionales de flujo, dosifican la cantidad requerida de cada uno de los combustibles para la mezcla seleccionada.

El blender utilizado fue estandarizado y programado para realizar 5 mezclas de diesel – biodiesel de palma, a saber: B5, B10, B20, B30 y B50. Además, para garantizar que cada vehículo utilice la misma mezcla durante todo el proyecto, el blender cuenta con un sistema electrónico que permite identificar el vehículo y el tipo de combustible que utiliza.

7.2.1.1.4 Aspectos legales y de seguridad industrial.

Esta planta de almacenamiento y mezcla de biodiesel contó con los permisos requeridos para este tipo de unidades de manejo de combustible, expedidos por la autoridad ambiental respectiva. La planta cuenta con una licencia otorgada por la Secretaría de Ambiente y la autorización a la empresa de transporte para su construcción.

Antes de la entrada en operación de la planta se realizó el análisis de riesgos operacionales ó Hazop, el cual permitió identificar los posibles riesgos ambientales y de seguridad que pudieran presentarse durante la operación de la planta. Con base en este Hazop se implementaron algunas modificaciones al diseño de la planta que permitieran mitigar los riesgos.

7.2.1.2 Optimización de la operación del blender

Una vez concluido el proceso de construcción de la estación de almacenamiento y mezcla fue necesario realizar una verificación de la precisión del sistema de mezclado de combustible, esta se realizó en dos niveles:

- Verificación del volumen de combustible que dispensa cada una de las líneas del mezclador.
- Cuantificación de la cantidad de biodiesel presente en cada una de las mezclas.

La cuantificación del contenido de biodiesel en la mezcla, se realizó mediante análisis infrarrojo. Para esto se desarrolló un modelo en un equipo Petrospec®, el cual a través del análisis de espectroscopia de infrarrojo cercano el cual permite cuantificar el contenido de metil ésteres de ácidos grasos (FAMES) presente en las mezclas. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Espectroscopia de ECOPETROL-ICP, el cual cuenta con el equipo y el modelo computacional para el análisis de estas muestras.

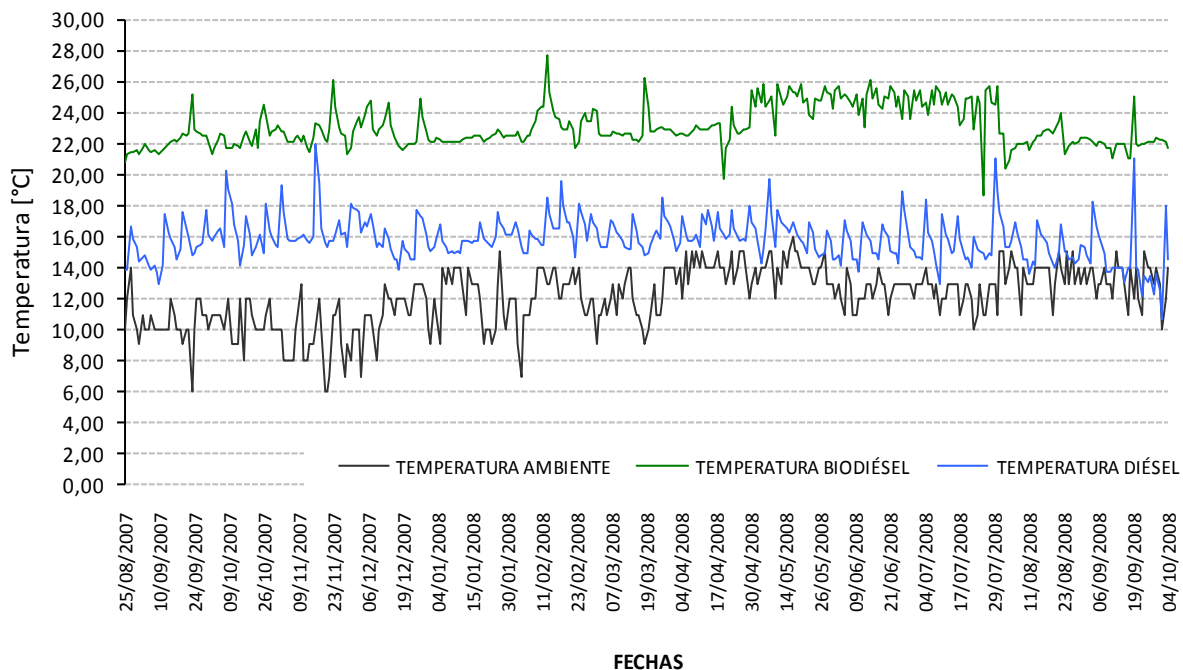
Adicionalmente se hicieron pruebas para identificar cual era la muestra más representativa (blender o tanque de bus) y el procedimiento para la toma de una muestra representativa de la mezcla, que permite medir con mayor precisión el contenido de biodiesel. Los resultados indicaron que la muestra debe tomarse en el tanque de combustible de cada vehículo.

Los resultados de los análisis para cada una de las muestras permitieron afirmar que la mezcla establecida era correctamente entregada por el sistema de mezclado y que funcionaba de manera adecuada. Es importante mencionar que el modelo presenta una mayor variación en los resultados de contenido de FAMES cuando la mezcla contiene valores entre el 5% y el 10%. Para las mezclas que contienen concentraciones superiores al 10%, la reproducibilidad del método es mayor.

7.2.1.3 Plan para el aseguramiento de la calidad de los combustibles

Teniendo en cuenta que el biodiesel de palma tiene un punto de nube de 14°C, y que las condiciones ambientales donde está ubicada la planta tiene temperaturas promedio de 9°C, el proyecto implementó un seguimiento permanente a la temperatura ambiente y de los tanques de almacenamiento. Como se mencionó anteriormente, el tanque donde se almacena el biodiesel de palma cuenta con un sistema de control de temperatura que permite mantener el producto a 20°C, 6°C por encima de su punto de nube. En cada uno de los tanques se instaló un sensor de temperatura que permitió el seguimiento diario de esta variable (Gráfico 7.2.1.2).

Gráfico 7.2.1.2: Seguimiento de las temperaturas del diesel y del biodiesel de palma al momento de abastecimiento de combustible a los buses.



Aunque el combustible diesel fósil no tiene los problemas de flujo en frío a la temperatura ambiente del sitio de la planta, es necesario conocer la temperatura a la cual se encuentra este combustible en el momento en que se realiza la mezcla con el biodiesel, con el objetivo de determinar si en las condiciones de operación de la estación, existe algún problema de “choque térmico” entre las dos corrientes. Se denomina “choque térmico” a la formación de cristales cuando se mezclan dos combustibles que tienen diferentes puntos de nube y que se encuentran a diferentes temperaturas. Durante la operación de la planta, la temperatura media del biodiesel de palma es de 23°C y en el caso del diesel se encuentra alrededor de 14°C; la programación de operación de los buses de la prueba ha implicado que la mayoría de los abastecimientos de combustible se realicen en la madrugada, a una temperatura ambiente promedio de 9°C. En estas condiciones no se ha evidenciado la formación de cristales en las mezclas utilizadas en el proyecto.

Asimismo, para controlar el ingreso de la humedad a los tanques de almacenamiento se han instalado filtros con sílica-gel en los respiraderos de los tanques. Complementariamente, con el propósito de garantizar la calidad de los combustibles entregados en la estación, se implementó un esquema de control de calidad que permite hacer seguimiento a los parámetros de calidad establecidos para combustibles puros y para cada una de las mezclas.

7.2.2 Conclusiones

7.2.2.1 Diseño y operación de la planta piloto de almacenamiento y mezcla de combustibles

- El blender o sistema de mezclado de combustibles implementado funcionó normalmente, permitiendo así garantizar el suministro de las mezclas específicas para cada uno de los buses de esta prueba.
- A pesar de que fueron identificados sedimentos en el fondo del tanque de biodiesel, un programa de mantenimiento adecuado para el tanque de almacenamiento permitió controlar la calidad del combustible suministrado a los buses.
- Se cumplió el programa de cargues y manejo de inventario de combustibles previsto para la prueba, demostrando con ello que tomando las precauciones adecuadas es posible almacenar con seguridad biodiesel de palma en condiciones de clima frío manteniendo su calidad.

7.2.2.2 Control de calidad de materias primas y mezclas

- El esquema de control de calidad implementado permitió realizar un seguimiento detallado a la calidad del biodiesel utilizado en la prueba. Producto de este seguimiento se logró identificar y determinar la naturaleza de la formación de sedimentos en el biodiesel puro (B100).
- El seguimiento realizado a los cargues de biodiesel en la estación de almacenamiento permitió establecer como parámetros críticos de calidad, el control del contenido de agua, contaminación total, contenido de Monoglicéridos, Diglicéridos, Triglicéridos y glicerina total, como parámetros fundamentales e indicativos del riesgo de aparición de sedimentos en el B100.
- Por ser el biodiesel de palma un producto higroscópico, es necesario llevar un control estricto sobre las condiciones de almacenamiento y transporte de este producto desde la planta del proveedor hasta el punto de mezcla.
- Se pudo determinar que la formación de sedimentos a temperaturas superiores a 20°C, no es un fenómeno exclusivo del biodiesel de palma, sino que se encuentran reportes internacionales donde este fenómeno se ha presentado en el biodiesel derivado de otros aceites como el de soya y colza.
- El seguimiento a la calidad de las mezclas diesel – biodiesel (B5, B10, B20, B30 y B50) permitió establecer que estas mezclas cumplen con todas las propiedades de calidad contenidas en la reglamentación colombiana.

7.2.2.3 Seguimiento al funcionamiento de los buses con las mezclas diesel – biodiesel de palma

- Se recorrieron 1.200.000 kilómetros de prueba, durante los cuales los 10 buses que utilizaron las mezclas diesel - biodiesel de palma operaron satisfactoriamente, al igual que los demás buses de la flota del operador.
- El consumo de combustible de los buses que han utilizado las mezclas diesel – biodiesel de palma se encuentra dentro del rango de consumo de los buses que utilizan solamente combustible diesel extra (menos de 500 ppm de azufre).
- La opacidad promedio de los buses que utilizaron las mezclas diesel –biodiesel de palma fue inferior a la opacidad registrada por los buses que operaron con combustible diesel y al histórico de los mismos buses antes de iniciar este proyecto.

7.2.2.4 Revisión al sistema de inyección de los buses que utilizan mezclas diesel – biodiesel de palma

- Los análisis realizados al aceite de lubricación indicaron que no se presenta un desgaste de los materiales por la presencia de biodiesel de palma en el combustible diesel, ni la calidad del aceite se ve comprometida.
- No se evidenció que el biodiesel de palma afectara las empaquetaduras del sistema de inyección.
- El desgaste generado en cada una de las piezas del sistema de inyección (Bomba e Inyectores) es normal y acorde al kilometraje recorrido por cada uno. Los expertos de Maxdiésel y Turbos concluyen

“las partes que tuvieron contacto con biodiesel generaron desgaste normales por kilometraje y no por el contacto con este tipo de combustible”.

- Los resultados de la prueba fueron satisfactorios puesto que no se encontraron inconvenientes en el desempeño de ninguno de los buses operados con mezclas diesel – biodiesel de palma.
- Los resultados presentados para las revisiones mecánicas a 50.000 y 100.000 Km. de prueba permiten afirmar que el biodiesel de palma puede ser utilizado con seguridad en motores convencionales sin necesidad de modificación alguna.

7.2.2.5 Resultados generales de los análisis de tribología de aceites

- El contenido de metales por desgaste se encuentra en concentraciones normales de acuerdo con el kilometraje recorrido.
- Las propiedades fisicoquímicas del lubricante: viscosidad cinemática y TBN, están dentro de los parámetros normales de uso del aceite lubricante.
- Con el uso de las mezclas diesel-biodiesel de palma se obtuvo una disminución sustancial del hollín.
- El decaimiento del TBN fue más lento en los buses que utilizaron el biodiesel de palma.

8 Referencias bibliográficas

Los siguientes documentos se tomaron como referencia para elaborar la sección 1 de este manual:

1. “Guía para el manejo y uso de biodiesel”. Laboratorio Nacional de Energía Renovable, Departamento de Energía de EE.UU. NREL/TP-540-43672, 4° edición. EE.UU. Enero de 2009. 52 págs. <http://www.osti.gov/bridge>.
2. “El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades”. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). ISBN 978-92-5-305980-5. ISSN 0251-1371. Roma, Italia. 2008. 146 págs.
3. “Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus”. Departamento de Agricultura y Energía de EE.UU. NREL/SR-580-24089 Categoría UC 1503. Mayo de 1998 www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/19980501_gen-339.pdf
4. “Informe de Vigilancia Tecnológica: Tecnologías de producción de biodiesel”. Programa Nacional de Energía y Minería, Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (COLCIENCIAS). ISBN 978-958-8290-27-0. Bogotá, Colombia. Diciembre de 2007. 112 págs.
5. “Aspectos técnicos relevantes en la estructura de cadenas de abastecimiento para la adopción de biodiesel como combustible para el transporte en Brasil”. Planeamiento estratégico tecnológico del Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel. COPPETEC/PET/IBP. PET-9478. Río de Janeiro, Brasil. Noviembre de 2007. 55 págs.
6. “Planeamiento estratégico logístico del Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel – Módulos I, II, y III”. COPPEAD/IBP. Río de Janeiro, Brasil. Noviembre de 2007. 55 págs.
7. “Análisis de Legislación sobre Biocombustibles en América Latina”. OLADE. Abril de 2007. 26 págs.
8. “Guía para el manejo y uso de biodiesel”. Eficiencia Energética y Energía Renovable. Departamento de Energía de EE.UU. DOE/GO-102006-2358, 3° Edición. EE.UU. Septiembre de 2006. 61 págs. <http://www.osti.gov/bridge>.

SECCIÓN 2: UPSTREAM

9 Actividad agrícola⁶

El presente capítulo analiza el eslabón agrícola de la cadena de biocombustibles, considerado desde una perspectiva global y regional.

En la sección 9.1 se presenta un panorama general, considerando algunos conceptos básicos, el contexto definido por el proceso de configuración de la cadena mundial de biocombustibles, y las tendencias mundiales en el uso de materias primas agrícolas para biocombustibles.

La sección 9.2 presenta una caracterización general del sector agroalimentario en Sudamérica y un análisis detallado de un conjunto seleccionado de materias primas (de disponibilidad inmediata y alternativas) para la producción de bioetanol y biodiesel, considerando las particularidades y potencialidades de sus producciones en los diferentes países de la región, como así también las ventajas, oportunidades y limitantes de utilizar dichos cultivos en la producción de biocombustibles.

Por último, la sección 9.3 aborda tres temas críticos relacionados con el desarrollo sostenible de los biocombustibles y sus particularidades en la región: a) el dilema biocombustibles vs. alimentos; b) sustentabilidad ambiental de la agricultura y los biocombustibles; c) biocombustibles e inclusión social.

9.1 Panorama general

9.1.1 Una breve mirada hacia los conceptos de bioenergía y los biocombustibles

La multiplicidad de conceptos que hacen referencia a la bioenergía y por tanto a los biocombustibles hacen que su conceptualización tienda a complejizarse. A grandes rasgos, los diferentes enfoques tienden a concluir que los biocombustibles constituyen una fuente de bioenergía que se deriva de la biomasa.

La UWET (2001) clasifica los biocombustibles en tres grupos: combustibles de madera, agro combustibles y subproductos de tipo municipal. Los combustibles de madera hacen referencia a los “[...] *biocombustibles derivados directa o indirectamente de los árboles y arbustos que crecen en tierras forestales y no forestales.*” (FAO, 2001a). Por otro lado, los agro combustibles son aquellos que se provienen principalmente de la biomasa que resulta “[...] *de los cultivos destinados a ser utilizados como combustible y los subproductos agrícolas, agroindustriales y animales*” (FAO, 2001a). Por último, los subproductos de tipo municipal hacen alusión a los “*desechos de biomasa producidos por la población urbana, que pueden ser de dos tipos: subproductos sólidos de origen municipal y subproductos gaseosos/líquidos de origen municipal producidos en ciudades y aldeas*” (FAO, 2001a).

Así mismo, existen criterios para clasificar los biocombustibles. La tabla 9.1.1.1 intenta unificar los enfoques en torno a la conceptualización que hacen las diferentes instituciones sobre los mismos (CLAES, 2008).

⁶ Autor: Federico Ganduglia (Oficina del IICA en la Argentina). Asistencia técnica Paula Nieto (Oficina del IICA en la Argentina). El presente capítulo ha sido elaborado por la Oficina del IICA en Argentina, con la colaboración del Especialista Regional en Tecnología e Innovación del IICA, Emilio Ruz, y de las Oficinas del IICA en Brasil, Chile, Colombia, Paraguay, Perú y Uruguay, las cuales aportaron información estadística y cualitativa sobre agricultura y biocombustibles en sus respectivos países.

Tabla 9.1.1.1: Criterios para clasificar los biocombustibles

Según el estado físico	Biocombustibles sólidos: leña, residuos forestales.
	Biocombustibles líquidos: bioetanol, biodiesel, aceites vegetales, MTBE y ETBE.
	Biocombustibles gaseosos: biogás y gasógeno.
Según el origen	Agro combustibles: bioetanol y biodiesel de cultivos anuales o plurianuales como caña de azúcar, remolacha, soja y maíz, colza, girasol, palma, respectivamente.
	Dendrocombustibles: leña.
Según el uso final	Biocombustibles para generación de energía térmica (calórica): leña, biogás.
	Biocombustibles para generación de energía eléctrica: cascarilla de arroz, biogás, bagazo de caña, biodiesel para generadores.
	Biocombustibles para transporte: biodiesel y bioetanol.
Según el proceso de conversión	Procesos químicos: biodiesel por transesterificación.
	Procesos térmicos: residuos forestales para combustión directa, gas de pirólisis.
	Procesos bioquímicos: biogás por fermentación anaeróbica, etanol.

Fuente: Taller CLAES, 2008.

De esta manera se tiene una perspectiva mucho más amplia de la connotación que posee la palabra “biocombustibles”. Dentro de este marco, el presente documento se concentrará principalmente en los biocombustibles líquidos originados con materias primas agroindustriales (“agro combustibles”) con uso final en el transporte (biodiesel y bioetanol).

9.1.2 El proceso de configuración de la cadena mundial de biocombustibles y la agricultura

El comienzo del milenio atestigua un importante cambio de paradigma. El mundo asiste a los primeros pasos en la transformación del modelo energético mundial como consecuencia del fin de la era del petróleo “abundante y barato”. Un fenómeno inexorable, en el cual la oferta de este recurso no renovable se mantiene relativamente estable y se aproxima a su pico⁷, al tiempo que crece significativamente la demanda mundial de energía, en un marco fuertemente influenciado por tensiones vinculadas a la “geopolítica del petróleo”.

Al mismo tiempo, el impacto cada vez más evidente y concreto de la contaminación ambiental y del cambio climático despierta creciente preocupación en muchos países, dando lugar a la adopción de políticas tendientes a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a promover las energías renovables. En este contexto, la agro energía y los biocombustibles son conceptualizados como parte de la solución a estas problemáticas, dando lugar a que en EE.UU., la Unión Europea (UE), Latinoamérica y numerosos países se adopten políticas tendientes a su introducción en la matriz energética a través del establecimiento de mandatos de uso obligatorio y de diversos tipos de incentivos (subsidios, exenciones impositivas, etc.).

A partir de ello, se produce el surgimiento de la cadena de biocombustibles en el mundo, cuya configuración se está determinando por la confluencia de una amplia diversidad de jugadores provenientes de diferentes ramas (complejos oleaginoso, cerealero, azucarero, ganadero, forestal, etc.) y eslabones (desde los sectores

⁷ De acuerdo a la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y el Gas (ASPO), el pico del petróleo (peak oil) ocurrirá alrededor del año 2010, y el del gas natural entre 2015 y 2025.

semillero y biotecnológico, hasta la industria de alimentos) de la cadena agroindustrial, del sector energético en general y de energías renovables en particular, del sector público, del sector automotriz, de ramas especializadas de la industria de maquinaria y equipos, como también de grandes grupos inversores provenientes del sector financiero internacional.

El surgimiento y configuración de la cadena mundial de agro energía y biocombustibles significa no sólo un nuevo mercado para la agricultura, sino también la posibilidad de protagonizar un nuevo paradigma con múltiples oportunidades y desafíos. Para los países de América del Sur, como así también para otros países productores, actuales y potenciales, el desarrollo de la agro energía y los biocombustibles representa oportunidades en términos económicos, ambientales, sociales y estratégicos (Ganduglia, 2008):

- Reducción de la dependencia en las energías no renovables y mayor seguridad en el abastecimiento energético.
- Mejoras ambientales a partir de la reducción de emisiones contaminantes.
- Generación de inversiones y empleo, directo e indirecto, regional y rural.
- Diversificación productiva del sector agropecuario.
- Agregado de valor a la cadena agroindustrial.
- Desarrollo rural y de economías regionales postergadas, a partir del desarrollo de cultivos energéticos en áreas marginales.
- Nuevas posibilidades de inserción para las PyMEs agropecuarias y la agricultura familiar.

Más allá de estas oportunidades, las incipientes cadenas domésticas y mundiales de agro energía y biocombustibles constituyen sistemas de extrema complejidad en donde convive la influencia de múltiples factores interconectados, tan diversos como los *fundamentals* propios de los mercados domésticos y mundiales de *commodities* agrícolas y energéticas, el impacto de factores coyunturales como el “mercado climático”, asuntos geopolíticos y decisiones de política (energética, agrícola, ambiental, comercial, etc.). Esa complejidad se potencia, además, con los altos niveles de dinamismo e incertidumbre propios del surgimiento de la cadena (desarrollos tecnológicos múltiples, aprendizaje continuo, fuerte intervención y cambios en las reglas de juego de los grandes jugadores del mercado mundial, etc.) y de conflictos, tensiones y riesgos latentes, en donde se destacan el dilema “alimentos vs. energía” y las potenciales externalidades negativas sobre el medio-ambiente y la biodiversidad que podrían ser generadas por una expansión descoordinada del sector a nivel mundial (Ganduglia, 2008).

9.1.3 Tendencias mundiales en el uso de materias primas agrícolas para biocombustibles

9.1.3.1 Utilización de materias primas de disponibilidad inmediata

De acuerdo a estadísticas de la consultora especializada F.O. Licht (2008), en 2007 se destinaron a la producción de etanol 72,5 millones de toneladas de cereales, 263,8 millones de toneladas de caña de azúcar, 14,4 millones de toneladas de melazas y 3,3 millones de toneladas de remolacha azucarera, mientras que la producción de biodiesel demandó 7,8 millones de toneladas de aceites vegetales (Tabla 9.1.3.1).

Tabla 9.1.3.1: Consumo global de materias primas para biocombustibles en 2007 (Miles de toneladas)

2007	Materias primas para etanol					Materias primas para biodiesel			
	Cereales	Mandioca	Remolacha azucarera	Melazas de caña y remolacha	Caña de azúcar	Alcohol de vino	Aceites vegetales	Otras materias primas para biodiesel	
EU-27	3.555	0	3.300	813	0	149	4.690	285	
Argentina	0	0	0	82	0	0	384	0	
Brasil	0	0	0	9.750	259.854	0	339	11	
Canadá	2.010	0	0	0	0	0	30	60	
Colombia	0	0	0	80	3.785	0	75	0	
Estados Unidos	62.583	0	0	0	0	0	1.635	70	
Paraguay	14	0	0	88	0	0	0	3	
Perú	0	0	0	0	0	0	10	0	
América Central y otros	0	0	0	615	0	0	74	2	
Américas	64.606	0	0	10.615	263.889	0	2.473	76	
Australia	104	0	0	160	0	0	75	25	
China	4.016	0	0	0	0	0	0	100	
India	0	0	0	1.640	0	0	10	0	
Pakistán	0	0	0	144	0	0	0	0	
Indonesia	0	0	0	0	0	0	100	0	
Malasia	0	0	0	0	0	0	100	0	
Filipinas	0	0	0	0	0	0	80	0	
Singapur	0	0	0	0	0	0	20	0	
Corea del Sur	0	0	0	0	0	0	80	0	
Tailandia	0	245	0	1.046	0	0	130	0	
Total Asia/Resto del mundo	4.120	245	0	2.989	0	0	595	125	
Mundo	72.479	245	3.300	14.416	263.889	149	7.841	486	

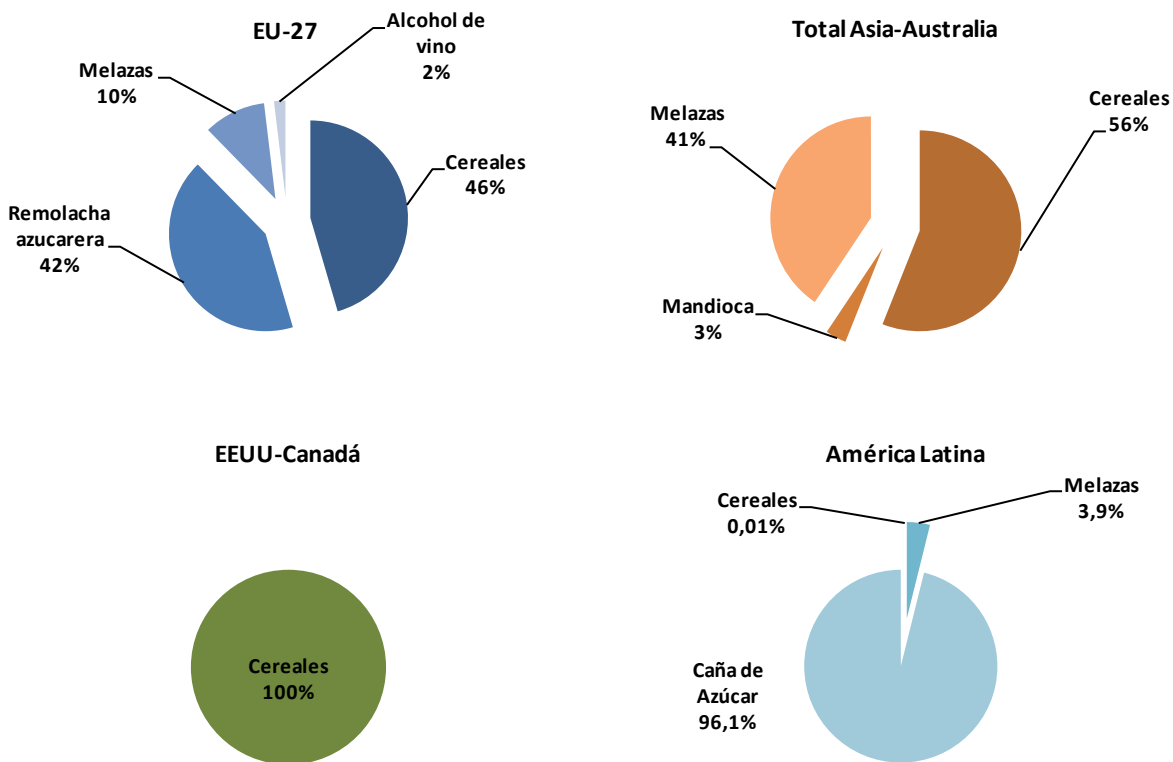
Fuente: F.O. Licht

Hasta el momento cada país o región se ha basado, en general, en la utilización de las de mayor disponibilidad inmediata. Así, por ejemplo, en el caso del etanol, EE.UU. lo produce a partir del maíz, Brasil a partir de la caña de azúcar y la UE principalmente a partir de la remolacha azucarera y el trigo. En el caso del biodiesel, la UE está utilizando principalmente aceite de colza, EE.UU., Brasil y Argentina producen mayoritariamente biodiesel a partir del aceite de soja y los países del sudeste asiático se basan en la utilización del aceite de palma⁸.

En los gráficos 9.1.3.2 y 9.1.3.3 se observa, por bloques regionales, la diversidad de las materias primas utilizadas actualmente para la producción de bioetanol. EE.UU. (62,6 millones de toneladas) y Canadá (2 millones de toneladas) consumen hasta el momento solamente cereales, mientras que en Asia, Australia y la Unión Europea (EU-27) presentan una canasta productiva mucho más diversificada respecto al total de materias primas utilizadas para la producción de bioetanol. En el caso de América Latina, la caña de azúcar representa el 96,1% del total del consumo de materias primas para la producción de bioetanol, seguida por las melazas con un 3,9% y los cereales con apenas un 0,01%.

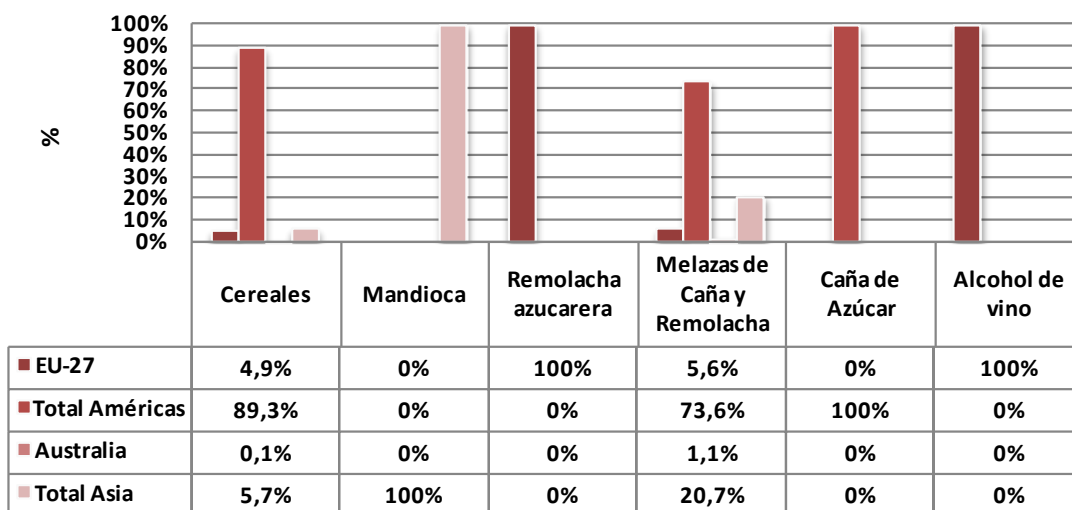
⁸ La soja, la palma y la colza representan alrededor de dos tercios de la producción mundial de aceites y grasas.

Gráfico 9.1.3.2: Consumo de materias primas para la producción de bioetanol según bloques regionales. 2007



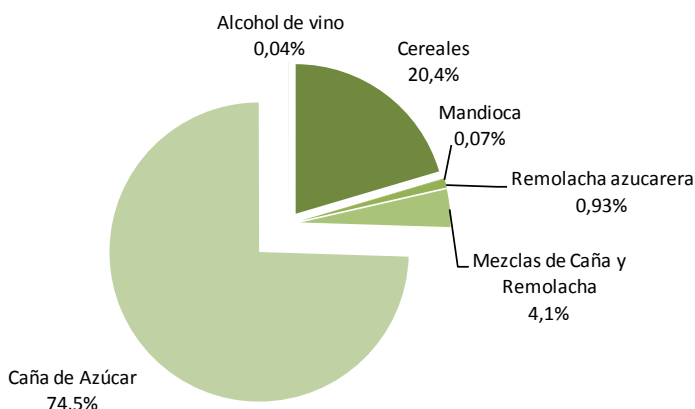
Fuente: Elaborado por IICA-Argentina con datos de F.O. Licht

Gráfico 9.1.3.3: Participación de los bloques regionales en el consumo de materias primas para la producción de bioetanol. 2007



Fuente: Elaborado por IICA-Argentina con datos de F.O. Licht

Gráfico 9.1.3.4: Participación de materias primas en la producción mundial de bioetanol. 2007

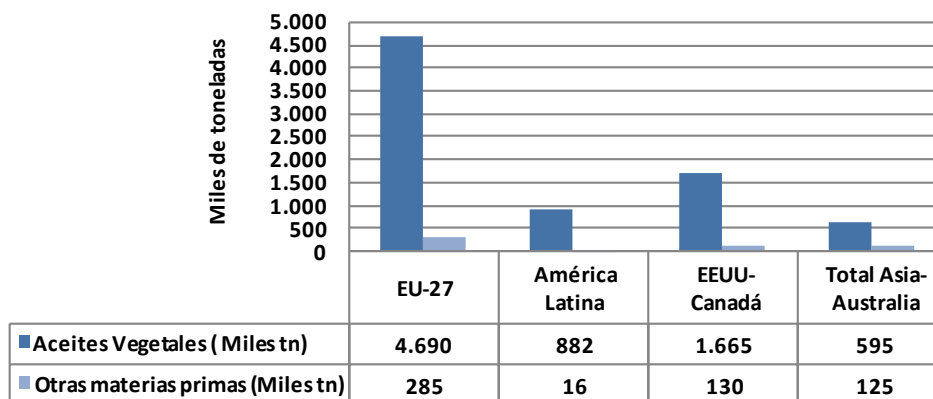


Fuente: Elaborado por IICA-Argentina con datos de F.O. Licht

La caña de azúcar destinada a la producción de bioetanol representó el 17% de la producción mundial en 2007 (16% en 2006). Por su parte, en el caso específico de los cereales, F.O. Licht (2008) estima que el consumo destinado a la producción de bioetanol representó el 4,5% de la oferta global de cereales en 2007 (3% si se consideran los co-productos de la producción de etanol, como los granos destilados secos) y el 3,3% en 2006 (2,2% considerando co-productos). El impacto más grande del etanol en la oferta de granos se registró en Estados Unidos en donde la demanda de etanol absorbió el 17% de la producción de cereales.

De acuerdo a la citada institución, la influencia de la producción de biodiesel en el mercado de aceites vegetales es más significativa que la del etanol en el mercado de granos. En 2007 el 5,9% de la oferta mundial de aceites vegetales fue utilizada para producir biodiesel (3,7% en 2006). Si se considera solamente a los aceites de colza, soja y palma, dicha participación se eleva al 7,6% (4,9% en 2006). El mayor impacto en la oferta de aceites vegetales se registró en la UE, en donde el 39,7% de la producción se destinó al procesamiento de biodiesel.

Gráfico 9.1.3.5: Consumo por bloques regionales de materias primas para la producción de biodiesel



Elaborado por IICA-Argentina con datos de F.O. Licht

Según estimaciones del Economic Research Service (ERS) del USDA, en 2007 se utilizaron en el mundo alrededor de 8,5 millones de hectáreas con destino a la producción de materias primas para biocombustibles. Estas cifras representarían alrededor del 1,3% de la tierra agrícola utilizada en la producción de cereales, oleaginosas y algodón. Según el ERS, en el margen, el aumento del área de materias primas para la producción de biocombustibles entre 2004 y 2007 (4,5 millones de hectáreas) representó el 24% del aumento del área total cosechada durante el mismo período.

Cabe señalar que la utilización de materias primas agrícolas para producir biocombustibles crecerá significativamente en los próximos años, teniendo en cuenta las metas de uso creciente de biocombustibles impuestas en los principales consumidores mundiales y el hecho de que muchos países de alto potencial productivo recién están ingresando a la producción a escala comercial. Algunos ejemplos relevantes:

- En EE.UU., principal productor y consumidor mundial de bioetanol, de acuerdo a estimaciones del USDA, en el ciclo 2006-07, el 20% de la cosecha de maíz (54,6 millones de toneladas) tuvo como destino el procesamiento en las plantas de etanol, mientras que para el ciclo 2007-08 se proyecta que la participación del uso destinado a etanol alcanzará el 26% de la producción (86,4 millones de toneladas) y para el 2008-09 el 33% (alrededor de 100 millones de toneladas). Si bien la *Energy Independence and Security Act* ha resultado clave en imponer un límite a la participación y expansión del etanol basado en maíz⁹, el requerimiento de este cereal para satisfacer el *Renewable Fuel Standard* (RFS) de 2015 será sustancialmente superior al actual, si se tiene en cuenta que la meta de etanol convencional, que quedará fija a partir de dicho año, supera en un 67% a la estipulada para 2008. En el caso del biodiesel, el RFS comienza a regir en 2009 con 1,67 millones de toneladas (1.900 millones de litros) y se extiende hasta 3,35 millones de toneladas (3.800 millones de litros) en 2012, cifra considerada como el mínimo a utilizar desde 2013 en adelante. Ello requeriría duplicar el uso actual de aceites vegetales para biocombustibles en dicho país.
- En el caso de la UE, principal consumidor mundial de biodiesel, la cuota de uso de biocombustibles crecerá del 4,25% del consumo de combustibles fósiles vigente en 2008 al 5,75% en 2010 y, de aprobarse sin cambios la Directiva de Energías Renovables propuesta por la Comisión, al 10% en 2020. Considerando su consumo interno de gasoil, se estima que en 2010 la demanda potencial de biodiesel para cubrir el corte del 5,75%, se ubicaría en el orden de los 13,2 millones de toneladas (15.000 millones de litros). Según estimaciones del *European Biodiesel Board* (EBB), para satisfacer la mezcla del 10% en el año 2020 se requerirían entre 25 y 28 millones de toneladas (entre 28.400 y 31.800 millones de litros) de biodiesel. La capacidad instalada en la UE ya se ubicaba en 16 millones de toneladas a julio de 2008 (EBB). Todas estas cifras implican requerimientos de aceites vegetales sustancialmente superiores a los 4,7 millones de toneladas destinados a la producción de biodiesel en 2007¹⁰.
- En Brasil, segundo productor mundial de bioetanol, se espera un crecimiento significativo de la utilización de caña de azúcar para la producción bioetanol, impulsada por el crecimiento proyectado de la flota de vehículos flex-fuel, el significativo aumento de la capacidad instalada que supone la actual ola de inversiones en el sector sucroalcoholero y el crecimiento de la demanda externa. De acuerdo a proyecciones del Ministerio de Agricultura de Brasil, la producción de bioetanol crecerá desde los 18.900 millones de litros de 2007 a más de 31.800 millones de litros en 2013 (con exportaciones de 7.000 millones de litros), y hacia 2018 se ubicaría en 41.600 millones de litros, con un consumo interno de 30.300 millones de litros (exportaciones por 11.300 millones de litros). Brasil y Argentina se ubicarán

⁹ La meta impuesta por dicho instrumento legal es creciente en el tiempo, hasta alcanzar un nivel de uso de 36.000 millones de galones (136.3000 millones de litros) de biocombustibles en 2022, compuesta por 15.000 millones de galones (56.800 millones de litros) de etanol convencional (de maíz), 16.000 millones de galones de etanol celulósico (60.600 millones de litros) y 5.000 millones de galones (18.900 millones de litros) de otros biocombustibles (biodiesel, biogás, butanol, etc.).

¹⁰ La conversión de aceite a biodiesel es igual a 1 y usualmente se calcula una merma de entre 3 y 4%.

entre los principales productores y exportadores mundiales de biodiesel, basado principalmente en soja. La capacidad instalada creciente de sus incipientes industrias, que entre plantas aprobadas y en construcción o regularización ya representa más de 5.600 millones de litros, implica un crecimiento significativo en el uso de oleaginosas y aceites vegetales durante los próximos años. A ellos se suma el crecimiento de la capacidad instalada para la producción de etanol y biodiesel en el resto de los países de América Latina y el Caribe, con su consecuente demanda de caña de azúcar, palma, soja y otras materias primas.

- ➡ En Malasia e Indonesia, principales productores y exportadores mundiales de aceite de palma¹¹, se espera una expansión importante en la utilización de esta materia prima para la producción y exportación de biodiesel. En 2007 la producción de biodiesel se ubicó en 340 millones de litros en Malasia y 185 millones de litros en Indonesia, pero la capacidad instalada ya suma 1.400 millones de litros en Indonesia y 1.150 millones de litros en Malasia¹². Otros países del Sudeste Asiático, como Tailandia -primer productor y exportador mundial de mandioca- y Filipinas -primer productor y exportador mundial de aceite de coco- también cuentan con altos incentivos para expandir la utilización de estas materias primas para la producción de biodiesel, en función de sus ventajas comparativas.

De acuerdo a proyecciones de la AIE (2006), el crecimiento proyectado en la producción mundial de biocombustibles requeriría en el largo plazo (2030), entre 35 millones de hectáreas y 53 millones (2,5% a 3,8% de la superficie cultivable mundial), según escenario de referencia y de políticas alternativas, respectivamente.

9.1.3.2 Las próximas generaciones de biocombustibles y sus materias primas

El proceso de emergencia y configuración de la cadena mundial de biocombustibles se caracteriza por un muy alto dinamismo en materia de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. La investigación, desarrollo e innovación juegan un rol clave en la obtención de nuevas generaciones de biocombustibles con potencial de contribución a la matriz energética sustancialmente superior a la de la generación actual y, más importante aún, para incrementar la frontera de producción sin generar competencia con el uso de la tierra destinada a la producción de alimentos y/o conflictos con el medio ambiente (Ganduglia, 2008).

Los principales jugadores del mercado mundial, con Estados Unidos, la UE y Brasil a la cabeza, están invirtiendo significativos presupuestos en I+D+i, tanto a nivel público como privado, en el marco de amplias plataformas de investigación y desarrollo, multidisciplinarias e integradas, en donde confluyen la botánica, la I+D agrícola, la ingeniería genética, la biotecnología, la biología sintética y la ciencia y tecnología industrial.

Este dinámico proceso de investigación y desarrollo tecnológico, y sus consecuentes generaciones de biocombustibles, tiene implicancias directas en cuanto al tipo de materia prima a utilizar.

Considerando tanto a la materia prima utilizada como a la tecnología de conversión, los biocombustibles pueden clasificarse en las siguientes generaciones¹³:

¹¹ En 2007 produjeron en conjunto 33 millones de toneladas (84% de la producción mundial), de las cuales exportaron 24 millones (90% de las exportaciones mundiales).

¹² F.O. Licht, 2008. Op.Cit.

¹³ La clasificación descrita, excepto la referencia a los biocombustibles de generación 1.5, está basada en: Biopact (2007). "A quick look at fourth generation biofuels".



- *Biocombustibles de primera generación:* constituyen la generación actual de biocombustibles, basados en la utilización de materias primas que también tienen usos alimentarios (maíz, caña de azúcar, remolacha azucarera, soja, palma, etc.) y tecnologías sencillas de fermentación (bioetanol) y transesterificación (biodiesel).
- *Biocombustibles de generación 1,5:* abarca a los biocombustibles producidos con las tecnologías convencionales y con materias primas alternativas a las de mayor disponibilidad inmediata, menos sensibles a la competencia con la producción de alimentos. Entre estas materias primas se encuentran diversas especies arbustivas o arbóreas perennes y otras alternativas con potencial para desarrollarse en zonas áridas o semiáridas y tierras marginales, degradadas o abandonadas, tales como el ricino, la jatropha, el cardo, el sorgo dulce, el topinambur, entre otros. Entre estos cultivos alternativos, el ricino constituye la alternativa más avanzada en cuanto a desarrollo agrícola dada la experiencia vigente en la producción de su aceite, mientras que el resto se encuentra en fases avanzadas de investigación y desarrollo para su producción a escala comercial.
- *Biocombustibles de segunda generación:* representan un cambio en la tecnología de conversión que permite reemplazar las azúcares, el almidón y los aceites de las materias primas utilizadas por la primera generación, por diversas formas de biomasa lignocelulósica (residuos agrícolas y forestales primarios y secundarios, hierbas perennes, árboles de crecimiento rápido, etc.). La conversión de biomasa lignocelulósica en biocombustibles da lugar a la obtención de bioetanol celulósico, biocombustibles sintéticos y bio-oil. Los biocombustibles de segunda generación, además de representar una mayor participación potencial en la matriz energética¹⁴ y un avance significativo en términos de balance de carbono, dejarían atrás el dilema biocombustibles vs. alimentos. Estas tecnologías aún no han alcanzado su punto de madurez para la producción a gran escala y, de acuerdo al consenso científico existente, las primeras plantas de biocombustibles lignocelulósicos no estarán disponibles antes de 2012 (OCDE, 2008).
- *Biocombustibles de tercera generación:* esta generación se basa en la utilización de cultivos energéticos especialmente diseñados o adaptados (a través de técnicas avanzadas de genética molecular, genómica y el diseño tradicional de cultivos transgénicos, etc.), a los efectos de obtener materias primas más eficientes para la conversión en biocombustibles y bioproductos. Diversas líneas de investigación y desarrollo recientes como el diseño de eucaliptos y álamos con bajo contenido de lignina, de cultivos de la primera generación con alto contenido de azúcar o de aceite y/o tolerantes a sequía (maíz, algodón, colza, entre otros cultivos) o a condiciones de mayor aridez, o desarrollos tendientes a aumentar el rendimiento en biomasa de los cultivos energéticos, constituyen algunos ejemplos de la amplia gama de posibilidades que presenta la tercera generación de biocombustibles¹⁵. La biotecnología y el campo emergente de la biología sintética resultarán fundamentales para el desarrollo de los biocombustibles de tercera generación, que representarían balances energéticos y ambientales altamente positivos y una coexistencia factible con la producción de alimentos, teniendo en cuenta que este tipo de desarrollos también está siendo replicado para el caso de los cultivos alimentarios.
- *Biocombustibles de cuarta generación:* representarían un avance revolucionario en la mitigación del cambio climático al incorporar el concepto de “bioenergía con balance negativo de carbono”¹⁶. En este caso,

¹⁴ Según el World Energy Council, citado por Biopact, hacia 2050 estos biocombustibles podrían reemplazar aproximadamente el 40% de los combustibles fósiles usados en transporte.

¹⁵ Otros ejemplos incluyen al sorgo con bajo contenido de lignina, al maíz con enzimas incorporadas para la conversión de biomasa en combustibles, al sorgo con capacidad para crecer en suelos ácidos, y a las investigaciones para secuenciar el genoma de especies de palma aceitera o de la mandioca, que permitirán que estos cultivos resulten más apropiados para la producción de biocombustibles (Biopact, 2007a).

¹⁶ El balance negativo de carbono significa que el dióxido de carbono liberado durante la producción y utilización del biocombustible es menor que el capturado o consumido durante el cultivo de la materia prima y la producción del biocombustible (IBERCIB). En este caso se superaría incluso el desempeño de otras energías renovables, como la solar y la eólica, que generan energía neutral en carbono.

la producción de agro energía y biocombustibles se combina con tecnologías de captura y almacenamiento de carbono a nivel de la materia prima y de la tecnología de proceso. Estos desarrollos implican una evolución incremental de la tercera generación, a partir de la obtención de materias primas especialmente diseñadas para la captura de grandes cantidades de CO₂. Recientemente se dieron a conocer algunos primeros avances en el área: árboles de eucaliptos con mayor capacidad de almacenamiento de CO₂ (3 veces mayor que la usual) desarrollados por un equipo de investigadores de Estados Unidos y Taiwán, y alerces híbridos que secuestran hasta un 30% más de CO₂, desarrollados por científicos japoneses¹⁷.

9.2 Caracterización y potencial de la agroindustria sudamericana¹⁸ para el desarrollo de los biocombustibles

9.2.1 El sector agroalimentario en Sudamérica

Si bien los países que integran el continente sudamericano cuentan con alta heterogeneidad desde el punto de vista de su tamaño y sus estructuras productivas y sociales, todos tienen en común la significativa importancia económica y social de su sector agroalimentario¹⁹. Ello se refleja en la alta participación del sector en el PBI, en las exportaciones y en el empleo de estos países.

Los países de la Región Sur cuentan con una extraordinaria dotación de recursos naturales para la producción agropecuaria y una baja densidad poblacional en relación con la tierra agrícola disponible, ventajas comparativas que recientemente se han complementado con un importante proceso de innovación tecnológica que ha profundizado su histórica competitividad internacional. Las tendencias productivas en estos países muestran en los últimos quince años un considerable crecimiento la producción y exportación de casi todos los productos de importancia económica.

Gran parte de los países de la Región Andina se encuentra en la zona de los Trópicos, donde existe la mayoría de ambientes agro-ecológicos que proveen de recursos. Estos países cuentan con una gran biodiversidad, calidad de tierras, fuentes de agua y microclimas de todo tipo. La importancia de la agricultura en las economías de la Región Andina representa en Ecuador el 27%, en Bolivia 23%, en Colombia 18%, en Perú 16% y en Venezuela 2%; mientras que la participación de las exportaciones agropecuarias con relación a las exportaciones totales es: Ecuador 45%, Bolivia 30%, Colombia 23%, Perú 21% y Venezuela 1%, con un valor promedio para la Región de 24%. (IICA – Informe Anual Región Andina, 2008).

La producción agrícola en los países sudamericanos está en continuo crecimiento y sus saldos exportables cada vez son mayores. En este sentido, según FAO (2008), el índice de producción agrícola para los países sudamericanos del 2000-2006 ha mejorado significativamente y da muestra del buen momento por el que

¹⁷ Para mayor conocimiento sobre los biocombustibles de cuarta generación y sus avances, además del citado artículo de Biopact, véase: Biopact. "The strange world of carbon-negative bioenergy: the more you drive your car, the more you tackle climate change". Octubre de 2007. Disponible en: <http://biopact.com/2007/10/strange-world-of-carbon-negative.html>; Biopact. "New study shows way to fourth-generation biofuels: scientists uncover mechanism that regulates carbon dioxide fixation in plants". Marzo de 2008. Disponible en: <http://biopact.com/2008/03/new-study-shows-way-to-fourth.html>

¹⁸ Los países sudamericanos considerados en el presente estudio comprenden a los de la Región Sur del continente (Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay) y a los de la Región Andina (Colombia, Ecuador, Venezuela y Perú). Tanto en las estadísticas como en los análisis subsiguientes no se incluye a Guyana, Guayana Francesa y Surinam.

¹⁹ Se considera como parte del sector agroalimentario a las siguientes actividades: agricultura, ganadería, industria agroalimentaria, producción forestal, pesca y cultivos de fibras vegetales.

atraviesa la actividad agrícola en estos países. En su conjunto, Sudamérica contribuye de manera significativa y creciente en la producción y exportación mundial de numerosos productos agropecuarios tales como trigo, maíz, soja, aceite de soja, aceite de girasol, harinas de soja, harinas de girasol, carne vacuna, carne aviar, azúcar, café, frutas tropicales, cítricos y pomáceas, entre otros.

Tabla 9.2.1.1: Índice de Producción Agrícola

	Año						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Argentina	100,03	99,50	97,69	103,20	105,24	113,98	114,86
Bolivia	103,01	101,48	108,87	113,87	113,99	119,25	117,71
Brasil	99,19	104,73	111,23	119,51	126,05	125,78	129,28
Chile	98,81	105,98	106,53	108,71	113,04	119,37	122,83
País Colombia	101,09	102,73	105,13	105,27	110,09	113,80	112,36
Ecuador	98,48	104,15	100,84	106,65	111,43	111,37	110,47
Paraguay	93,68	104,43	101,91	114,81	121,78	116,79	117,24
Perú	100,11	101,64	108,84	115,57	115,48	125,77	125,19
Uruguay	101,64	89,31	93,29	97,54	114,65	116,69	118,56
Venezuela	100,70	105,04	102,04	96,84	96,50	105,01	104,13

Los índices están basados en la producción total, es decir, sin deducción de las cantidades destinadas a la alimentación animal y a la producción de semillas. Periodo base: 1999-2001.

Fuente: FAO

La innovación tecnológica y expansión de la producción agropecuaria de la región no han estado acompañadas en la misma magnitud por un proceso de agro-industrialización y aumento del valor agregado de las exportaciones de origen agropecuario. Ello se refleja en el bajo valor medio y el bajo nivel de diferenciación de las exportaciones de origen agropecuario, en comparación al registrado por otros países agro-exportadores como Australia, Holanda o Nueva Zelanda (IICA, 2008). En este sentido, los biocombustibles se presentan como una nueva variante para el agregado de valor y la diversificación.

Sudamérica vislumbra importantes oportunidades para convertirse en un importante polo mundial de biocombustibles, a partir de sus condiciones edafoclimáticas óptimas para la producción de una amplia diversidad de materias primas, de las ventajas comparativas de su sector agrícola, basadas en su dotación actual y potencial de factores de producción – la región cuenta con la mayor disponibilidad de recursos hídricos renovables del planeta y con un área potencial cultivable de 746,5 millones de hectáreas hasta cierto punto idóneas para la producción de secano, de los cuales actualmente sólo se utiliza en labranza y cultivos permanentes alrededor del 16% (tablas 9.2.1.2 y 9.2.1.3) –, sus saldos exportables crecientes, y las ventajas competitivas de cadenas agroindustriales clave como la sucro-alcoholera en Brasil, la del aceite de soja en Argentina o la del aceite de palma en Colombia, por citar los casos más representativos. Tanto por su dotación de recursos naturales, como por sus saldos exportables, Sudamérica está en condiciones de producir biocombustibles sin poner en riesgo su seguridad alimentaria.

Es importante señalar que una porción significativa de la tierra potencialmente idónea para la producción agrícola de secano no se encuentra disponible en la práctica, por estar destinada a usos valiosos como bosques, zonas protegidas o infraestructuras y asentamientos humanas, o por presentar características que hagan difícil la actividad agrícola, como baja fertilidad del suelo, alta toxicidad del suelo, terreno accidentado o difícil por otras razones, etc. (Cotula *et al*, 2008). Teniendo en cuenta lo anterior, y el hecho de que los procesos de expansión de la frontera agrícola o de intensificación de la producción implican eventuales

riesgos medioambientales, tales como deforestación y pérdida de biodiversidad, contaminación o efectos adversos en el suelo, resulta fundamental que el proceso de configuración y emergencia de la cadena de biocombustibles en los países de la región se encuentre basado primordialmente en el incremento de rendimientos (para lo cual resulta crucial la I+D+i) y en criterios de sustentabilidad (buenas prácticas agrícolas, forestales y de gestión de los recursos naturales, ordenamiento territorial, zonificación agroecológica-económica, etc.).

Tabla 9.2.1.2: Disponibilidad y distribución del recurso tierra en América del Sur

Cifras en miles de hectáreas

Producto/Países	Región Sur						Región Andina				Total
	Argentina	Brasil	Paraguay	Uruguay	Bolivia	Chile	Venezuela	Colombia	Ecuador	Perú	
Superficie de la tierra	273.669	845.942	39.730	17.502	108.438	74.880	88.205	110.950	27.684	128.000	1.715.000
Superficie agrícola	129.355	263.600	24.258	14.955	37.768	15.245	21.690	42.557	7552	21.310	578.290
Labrantío y cultivos permanentes	29.505	66.600	4.298	1.412	3.256	2.315	3.450	3.613	2.562	4.310	121.321
Labrantío	28.500	59.000	4.200	1.370	3.050	1.950	2.650	2.004	1.348	3.700	107.772
Cultivos permanentes	1.005	7.600	98	42	206	365	800	1.609	1.214	610	13.549
Praderas y pastos permanentes	99.850	197.000	19.960	13.543	34.512	12.930	18.240	38.944	4.990	17.000	456.969
Superficie forestal	33.021	477.698	18.475	1.506	58.740	16.121	47.713	60.728	10.853	68.742	793.597
Otra tierra	111.293	104.644	n.d.	1.041	11.930	43.514	18.802	7.665	9.279	37.948	346.116

FAOSTAT | © FAO Dirección de Estadística 2008 | Acceso: 16 septiembre 2008

Los datos corresponden al año 2005

Tabla 9.2.1.3: Tierra con potencial cultivable en América del Sur – Todos los cultivos

Cifras en miles de hectáreas

	Región Sur						Región Andina				Total	
	Argentina	Brasil	Paraguay	Uruguay	Bolivia	Chile	Venezuela	Colombia	Ecuador	Perú		
Tierra total	277.685	853.637	39.905	17.907	108.903	75.202	92.388	113.184	25.263	128.922	1.732.996	
Tierra muy apropiada, apropiada, moderadamente apropiada y marginalmente apropiada	93.675	438.221	18.300	14.272	63.023	6.658	48.449	34.500	6.425	23.017	746.540	
Tierra arable en uso en proporción a tierra con potencial cultivable muy apropiada, apropiada, moderadamente apropiada y marginalmente apropiada	31%	15%	23%	10%	5%	35%	7%	10%	40%	19%	16%	
Tierra muy apropiada, apropiada y moderadamente apropiada	85.067	376.459	13.369	14.265	60.259	4.130	45.228	27.529	4.910	14.264	645.480	
Tierra muy apropiada y apropiada	69.630	309.950	7.884	13.924	51.152	1.293	39.414	21.582	3.263	8.448	526.540	
Altos insumos	Tierra muy apropiada	29.136	122.800	2.144	9.220	22.434	0	21.128	8.748	1.136	389	217.135
	Tierra apropiada	34.395	172.442	4.993	3.979	25.871	502	17.099	11.892	1.266	6.256	278.695
Insumos intermedios	Tierra muy apropiada	601	103	213	0	75	174	36	20	26	146	1.394
	Tierra apropiada	5.457	14.605	534	725	2.707	617	1.151	922	835	1.462	29.015
	Tierra ligeramente apropiada	11.936	62.660	4.509	341	7.533	2.138	5.436	5.812	1.476	4.516	106.357
Bajos insumos	Tierra muy apropiada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
	Tierra apropiada	41	0	0	0	65	0	0	0	0	180	286
	Tierra moderadamente apropiada	3.501	3.849	976	0	1.574	699	378	135	171	1.300	12.583
	Tierra ligeramente apropiada	8.609	61.762	4.931	8	2.763	2.523	3.221	6.972	1.513	8.752	101.054
Tierra no apropiada	184.010	415.417	21.606	3.635	45.881	68.548	43.940	78.683	18.839	105.906	986.465	

Fuente: IIASA - FAO

*Extensiones brutas de tierra con potencial de cultivo en seco - mix tecnológico maximizador

9.2.2 Materias primas para la producción de bioetanol

El bioetanol puede obtenerse a partir de tres tipos de materias primas:

- Cultivos y materiales con alto contenido de sacarosa, como la caña de azúcar, la remolacha azucarera, el sorgo dulce y las melazas, entre otros.
- Cultivos amiláceos con alto contenido de almidón, tales como los cereales (maíz, sorgo granífero, trigo y cebada) o raíces y tubérculos (mandioca, papa, batata, etc.), o de inulina (topinambur, agave, ñame, etc.).
- Materias primas y cultivos con alto contenido de celulosa (lignocelulósicos), cuyos carbohidratos se encuentran en formas más complejas (madera, residuos agrícolas y forestales, cultivos lignocelulósicos, material herbáceo, etc.).

En el caso de los países de Sudamérica, la producción de las materias primas más relevantes para la producción de bioetanol sumó casi 760 millones de toneladas en 2007. El cultivo de mayor disponibilidad inmediata en la región es la caña de azúcar, cuya producción se extiende en todos los países a excepción de Chile. Brasil, principal productor mundial de caña de azúcar, ejerce un predominio significativo en la producción regional de esta materia prima. Seguido de este cultivo se encuentran el maíz, cuya producción se concentra en Argentina y en Brasil, la mandioca, el sorgo, la remolacha azucarera y el ñame (Tabla 9.2.2.1 y Gráfico 9.2.2.2). Brasil, Argentina y Colombia son, en ese orden, los principales productores sudamericanos de materias primas utilizables para la producción de bioetanol (Gráfico 9.2.2.3).

Tabla 9.2.2.1: Materias primas para la producción de bioetanol. 2007

Cifras en toneladas

Materias Primas	Producción Total Sudamérica
Caña de Azúcar	635.530.273
Maíz	80.016.184
Mandioca	36.495.443
Sorgo	5.361.594
Ñame	619.242
Remolacha Azucarera	1.833.150
TOTAL	759.855.886

Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas oficiales de los países y FAOSTAT

Gráfico 9.2.2.2: Composición de la producción sudamericana de materias primas utilizables para producir bioetanol

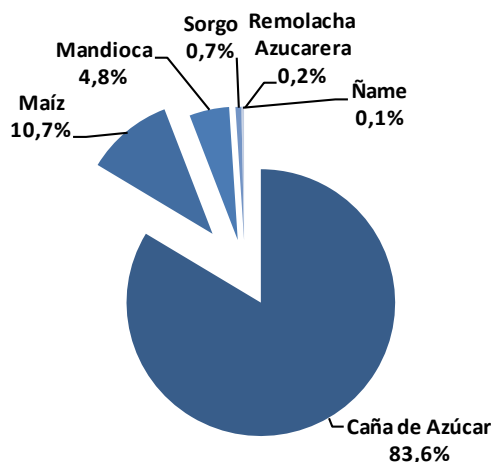
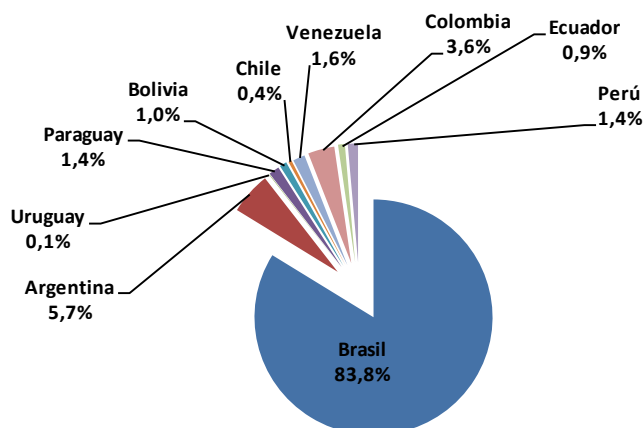


Gráfico 9.2.2.3: Participación de los países en la producción de materias primas utilizables para la elaboración de bioetanol



A continuación, se presenta un detalle de las materias primas utilizables para la producción de bioetanol y su correspondiente caracterización y análisis para los países del cono sur. Se segmenta el análisis entre materias primas consideradas de disponibilidad inmediata y materias primas alternativas relevantes, de menor desarrollo en la región.

9.2.2.1 Materias primas de disponibilidad inmediata

Las materias primas de disponibilidad inmediata en la región, para la producción de bioetanol son esencialmente la caña de azúcar, en donde Brasil es el principal productor, y los cereales como el maíz y el sorgo granífero, en donde se destaca Argentina con saldos exportables significativos.

Caña de Azúcar / Cana-de-Açúcar / Sugar Cane

Cultivo	Caña de Azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)
Características	Planta herbácea perenne proveniente del sudeste asiático. La caña es una especie tropical que puede explotarse también en zonas subtropicales. Requiere un clima cálido y húmedo para su adecuado crecimiento y temperaturas entre los 16 y 30°C. No exige ningún tipo específico de suelo y puede ser cultivada en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos. El suelo debería ser preferentemente bien aireado y tener un contenido total de agua disponible de 15% o más. Posee altas necesidades de nitrógeno y potasio y relativamente bajos requerimientos de fosfato. Es un cultivo moderadamente sensitivo a la salinidad. Un cultivo eficiente puede producir 100 a 150 toneladas de caña por hectárea por año. A partir de la caña de azúcar se obtiene azúcar, alcohol, melazas, fibra, fertilizantes y otros subproductos.
Requerimiento de agua	1.500-2.500 mm/año
Contenido de azúcares fermentables	15%
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)*	75
Subproductos / co-productos de su utilización para biocombustible	Bagazo de caña: derivado de la caña exprimida (alrededor de 260 Kg. de bagazo por tn de caña), puede utilizarse para la producción de energía eléctrica y calórica por medio de la cogeneración, como forraje para ganado y como abono. La vinaza, derivado de la producción de alcohol (10-15 lt de vinaza por lt de alcohol), puede utilizarse (tratada) como fertilizante, o para la producción de biogás, a partir de un tratamiento anaeróbico.
Rendimiento agrícola (tn/ha)	70,88 (media mundial)
Promedio región (ponderado)	79,37
Países con mayor rendimiento	Colombia (125), Perú (122), Brasil (79) y Ecuador (78)
Potencial	110-150 (en los trópicos secos y subtrópicos con irrigación)
Rendimiento etanol x ha (lts/ha)*	5.300
Con rendimiento agrícola medio regional	5.926
En países de mayor rendimiento agrícola	5.850-9.375
Potencial	8.250-11.250

* Con producción de alcohol a partir del jugo de la caña

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; FAO Water Development and Management Unit y fuentes varias.

Tabla 9.2.2.4: Caña de azúcar en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales

2006-2007		Región Sur						Región Andina				Total	
Cultivo	Variable/País	Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)		
Caña de Azúcar	Área cultivada (hectáreas)	7.080.300	296.760	3.000	84.000	115.862	-	123.470	214.569	78.000	66.122	8.062.083	
	Producción agrícola (toneladas)	559.431.900	18.799.055	144.500	4.100.000	6.201.125	-	9.322.937	23.356.350	5.928.000	8.246.406	635.530.273	
	Rendimiento agrícola (ton/ha)	79,01	66,05	48,82	50,00	53,52	-	75,51	125,13	78,00	121,70	79,37	
	Comercio exterior - Azúcar* (toneladas)	Exportaciones	12.443.221	138.007	-	75.369	12.276	-	-	208.198	14.573	48.894	12.940.538
		Importaciones	27	1.539	54.487	502	-	610	233.319	588	215	23.247	314.532
	Comercio exterior - Melaza de caña* (toneladas)	Exportaciones	1.052	13.677	-	2.762	-	-	-	220	-	1.822	19.533
		Importaciones	-	6	980	-	37	13.289	1	-	1.872	-	16.185
	Producción de bagazo de caña (kbep)**		7.306	290.982	167	1.086	2.186	0	0	13.940	2.439	2.692	320.798

(1) Fuente: Conab, Safra 2007
 (2) Fuente: SAGPyA, Safra 2005 (último dato disponible)
 (3) Fuente: MGAP-DIEA. Estadística área cosechada
 (4) Fuente: DGP/MAG
 (5) Fuente: Instituto Nacional de Estadística -Bolivia- Preliminar 2006
 (6) Fuente: -
 (7) Fuente: MAT. Preliminar 2006. Estadística en área cosechada
 (8) Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Dirección de Política Sectorial. GSI. Preliminar 2007
 (9) Fuente: Fenzucar. Elaboración: SDEA/DPDA/VC. Los años corresponden a año agrícola de junio a julio.
 (10) Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura - Dirección de Información Agraria. Preliminar 2007.
 *Fuente: Un Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007
 ** Fuente: OLADE. Informe de Estadísticas Energéticas 2007

La caña de azúcar constituye la principal materia prima para la producción de bioetanol en Sudamérica. El área plantada con caña en la región supera los 8 millones de hectáreas, con una producción del orden de los 635 millones de toneladas (41% de la producción mundial). El rendimiento agrícola de la región se ubica en 79,4 tn/ha, por encima de la media mundial y con países como Colombia y Perú, que exhiben muy elevados rendimientos, ubicados entre los más altos del mundo.

En la disponibilidad de caña de azúcar en la región resulta decisivo el aporte de Brasil, primer productor mundial (31% de la producción mundial), que representa el 88% del área cultivada y de la producción regional. Muy por debajo del nivel de producción brasileña se ubican, en orden de importancia, Colombia, Argentina, Venezuela y Perú (Gráfico 9.2.2.5).

Brasil es hoy una potencia consolidada en materia de agroenergía y biocombustibles, precisamente a partir de su vasta experiencia en la producción y uso de bioetanol de caña.

Gráfico 9.2.2.5: Caña de azúcar – participación en la producción por países

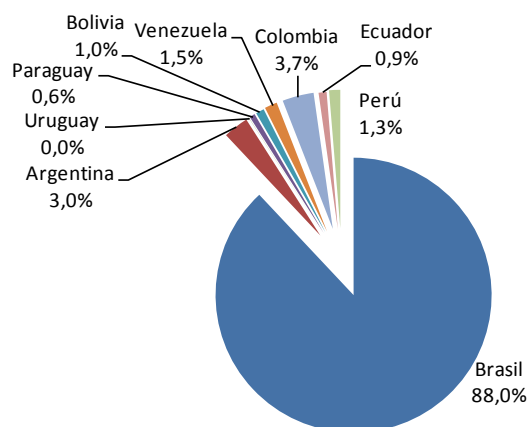
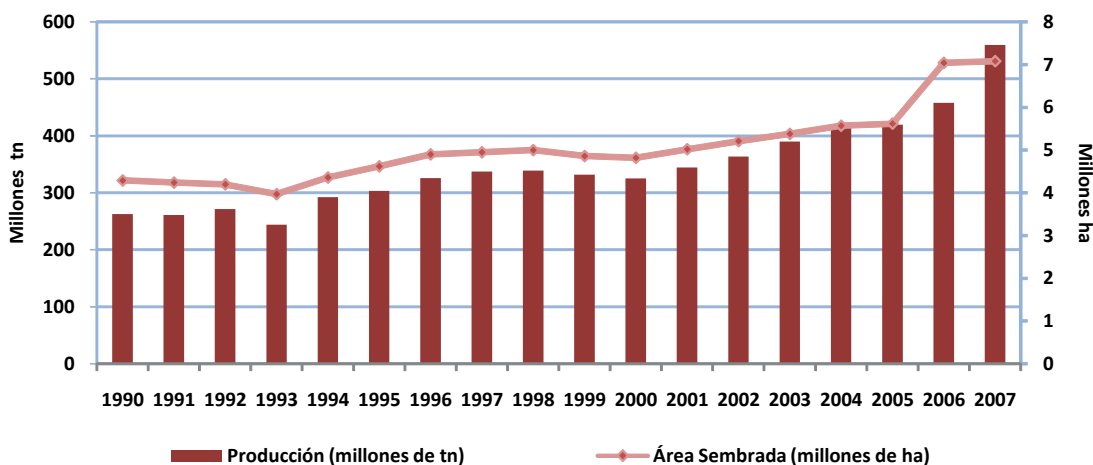


Gráfico 9.2.2.6: Evolución del área sembrada y la producción de caña de azúcar en Brasil



Fuente: CONAB

Brasil produce el bioetanol directamente a partir del jugo de la caña, lo que le asegura un alto rendimiento en litros por hectárea (del orden de 6000 lt/ha) y alta eficiencia en costos y en la utilización de tierra. En 2007 el 53% de la producción brasileña de caña se destinó a la producción de alcohol. Estas cifras representan 3,9 millones de hectáreas (apenas el 1% del área cultivable y 6% del área cultivada de Brasil).

La elevada eficiencia brasileña también proviene de su tecnología de avanzada para la producción de caña de azúcar y de etanol. La larga historia y experiencia en la producción de caña de azúcar y de etanol de caña han dado lugar a una eficiencia creciente y costos descendentes, fruto del aumento en los rendimientos agrícolas y del aprendizaje y el progreso tecnológico en todos los eslabones de la cadena sucro-alcoholera. El etanol de caña brasileño es el más competitivo del mundo en términos de costos, pese a que su producción no recibe subsidios directos, a diferencia de EE.UU. y de la UE.

En general, el resto de los países de la región cuenta con tradición cañera y con industrias azucareras regionales consolidadas, con alta coordinación de sus cadenas, y altos niveles de investigación y desarrollo tecnológico, tanto a nivel del cultivo como de la industria (variedades, biotecnología, manejo agronómico, tecnología de procesos, etc.). Entre ellos, se destacan Colombia y Argentina, por volumen de producción, y Perú, que junto a Colombia presenta los rendimientos más elevados de la región. Con excepción de Chile, en donde no se produce caña de azúcar, todos los países considerados cuentan con proyectos de inversión que apuntan a la construcción y/o ampliación de destilerías para la producción de bioetanol a partir de esta materia prima.

A diferencia del caso brasileño, el alcohol en estos países se produce mayoritariamente a partir de la melaza, con lo cual su producción representa, tecnológicamente, un subproducto de la producción del azúcar. Bajo este modelo productivo, los rendimientos en litros por hectárea son sustancialmente inferiores: 820 lts/ha²⁰. Por ejemplo, en Argentina, la obtención del alcohol a partir de la melaza representa un rendimiento de entre 660,5 lts/ha (con rendimiento agrícola promedio a nivel nacional) a 935 lts/ha (con rendimiento agrícola obtenido por los ingenios más productivos, con integración vertical).

²⁰ Considerando el promedio agrícola de la región excluyendo a Brasil y que de una tonelada de caña se obtiene un 4% de melaza y de una tonelada de melaza se obtienen 240 a 260 litros de alcohol.

Ante el establecimiento de mezclas obligatorias de gasolina con bioetanol en casos como el de Colombia o Argentina, han surgido proyectos de inversión de las industrias sucro-alcoholeras, que apuntan a la producción directa a partir del jugo de la caña.

La expansión de la frontera de producción cañera es factible, si se tienen en cuenta el área con potencial para el cultivo de caña (Tabla 9.2.2.7) y el margen de incremento en la productividad del cultivo a partir de mejoras tecnológicas (mejoras en variedades y manejo, mecanización, ampliación del área irrigada, etc.). Desde el punto de vista de la capacidad industrial también es factible expandir la producción de bioetanol de caña, dada la capacidad instalada de molienda existente y el crecimiento en la industria de destilación.

El mayor potencial de expansión de la frontera de producción de caña se encuentra en Brasil, país que estará en condiciones de afrontar sin dificultades la creciente demanda de bioetanol proyectada, tanto externa como doméstica. En el resto de los países el potencial de expansión productiva es más limitado desde el punto de vista del área potencialmente cultivable. No obstante, a excepción de Chile, dicho potencial les permitiría cubrir, por ejemplo, un hipotético mercado doméstico de E5.

Tabla 9.2.2.7: Potencial de expansión de caña de azúcar en la región

(cifras en hectáreas)

País	Área cultivada actual	Área potencial*	Expansión posible
Brasil	7.080.300	17.800.000	10.719.700
Argentina	296.760	435.000	138.240
Uruguay	3.000	n.d	n.d.
Paraguay	84.000	450.000	366.000
Bolivia	115.862	n.d	n.d.
Venezuela	123.470	276.000	152.530
Colombia	214.569	414.569	200.000
Ecuador	78.000	675.932	597.932
Perú	66.122	n.d	n.d.
TOTAL	8.062.083	20.051.501	12.174.402

* Fuente: En base a IICA - Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: I. etanol

Algunas consideraciones adicionales sobre el área potencialmente cultivable con caña en los países de la región:

- Brasil: existen aún áreas factibles de ser plantadas con caña en el oeste del estado de San Pablo (en donde está habiendo actualmente expansión). En las extremidades de dicha región, también existe potencial para la expansión de la producción en el Triángulo Minero, en el sur de Goiás y el este de Mato Grosso do Sul. Si se tiene en cuenta que las áreas del Cerrado también son propicias para la expansión del cultivo de caña, otras regiones podrían tomarse productoras, como el Medio-Norte, abarcando el norte de Tocantins y el sur de Maranhão y Piauí (IICA-Brasil).
- Colombia: algunas estimaciones señalan que la frontera de caña de azúcar se puede ampliar en 200.000 hectáreas. De acuerdo a ASOCAÑA, el potencial de expansión de la producción de etanol en el valle geográfico del río Cauca, se encuentra limitado tanto por la necesidad de mantener una importante producción de azúcar para abastecer el mercado interno, como por la limitación en la disponibilidad de tierras. De acuerdo al Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, citado por ASOCAÑA, se han identificado nuevas áreas susceptibles para el desarrollo de la caña de azúcar.

Estas regiones se ubican a lo largo de la geografía colombiana, desde la Costa Atlántica, la Hoya del río Suárez y los Llanos Orientales, hasta el Tolima.

- Argentina: una de las principales limitantes para una expansión significativa en la producción de etanol de caña es la disponibilidad de tierras aptas. En el caso de Tucumán, principal provincia productora del país, se dispondría de 100.000 hectáreas potencialmente cultivables adicionales a las 205.000 en explotación, aunque implicarían desplazamiento de otros cultivos. En esta provincia, las tierras ocupadas por otros cultivos que potencialmente podrían pasar a caña se encuentran en zonas con menores precipitaciones, que requieren riego complementario, y están más expuestas a las heladas. Podrían resultar factibles sólo en contextos de precios favorables. Por su parte, en las provincias de Salta y Jujuy, la capacidad de extender sus cañaverales se halla más limitada, ya que las áreas de mayor aptitud y más cercanas a los ingenios ya se encuentran en explotación. En este caso, las limitantes a la expansión tienen que ver principalmente con los menores regímenes hídricos de las áreas marginales. El área potencialmente cultivable en Salta y Jujuy se ubicaría en alrededor de 120.000 hectáreas. La mayor potencialidad de expansión se ubicaría en el norte de Salta, en la zona del Tabacal. En el caso de Jujuy las mayores posibilidades se encontrarían en el norte, aunque ello implicaría sustitución de cultivos o desmonte, en algunos casos de tierras degradadas. Una de las claves para la expansión futura estará dada en los avances en mejoramiento genético que permitan una mayor adaptación para las áreas marginales. Cabe esperar -de acuerdo al principal proyecto de bioetanol de caña existente en el país- que en la región del Noroeste se complemente la utilización de caña de azúcar con la de cereales, extendiendo así las operaciones más allá del período de zafra azucarera y sorteando en parte las restricciones a la expansión del área con caña.
- Perú: cuenta con dos áreas que son las más aptas para el cultivo de la caña de azúcar: la costa, que tiene grandes extensiones de tierra disponibles para la siembra de caña de azúcar, pero limitaciones relacionadas con el recurso hídrico, y la selva, que cuenta con grandes extensiones de tierra que pueden aprovecharse para la siembra de caña de azúcar, lluvias estacionales marcadas, suelos adecuados y agua suficiente proveniente de los ríos, pero donde no existe la cultura de sembrar este producto y las lluvias fuera de época pueden hacer que el contenido de sacarosa de la caña sea bajo. De este modo, para incursionar en áreas con potencial para el cultivo de la caña de azúcar, tanto para el consumo humano como para la producción de etanol, habría que ampliar la frontera agrícola a terrenos eriazos o sustituir unos cultivos por otros, en este caso por caña de azúcar.
- Ecuador: de los países analizados para los que se dispone de información, Ecuador es el que presentaría el mayor potencial de expansión agrícola de la caña de azúcar, después de Brasil. Según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, el país dispone de 675.900 hectáreas potencialmente cultivables con caña.
- Paraguay: cuenta con una superficie potencialmente cultivable de unas 450.000 hectáreas, en todo su territorio nacional. Su expansión y fortalecimiento dependen de que se den las condiciones de fomento principales como son: financiamiento, asistencia, organización y promoción.
- Uruguay: las condiciones más propicias para el desarrollo de la caña de azúcar se dan en la región Norte, en el Departamento de Artigas y en la zona norte de Salto²¹. Sin embargo, se están incorporando otras variedades de caña que sean propicias para climas más templados por su mayor rendimiento. El objetivo es re-sembrar con estas nuevas variedades.

²¹ "Energías Alternativas". Capítulo 6 de la publicación "Sector energético en Uruguay, diagnóstico y perspectivas" de la Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear/MIEM.

- Venezuela: PDVSA aportó financiamiento para realizar estudios de factibilidad en futuras áreas de cultivo de caña, que indican que podrían plantarse hasta 276.000 hectáreas de este cultivo. En la actualidad el etanol se importa de Brasil para mezclarlo con la gasolina en proporciones de hasta un 8%.

En términos generales, la caña de azúcar como materia prima para la producción de biocombustibles cuenta con varias ventajas:

- Agronómicamente, se destaca por su adaptabilidad en casi todos los tipos de suelos y su alto aprovechamiento de la radiación solar, posee varios ciclos productivos, admite el intercalamiento y responde con eficiencia a la fertilización y el riego.
- Su elevado rendimiento potencial de alcohol por hectárea en comparación con los cereales y otras alternativas, implica un menor requerimiento de tierra y, consecuentemente, mayor eficiencia en la distribución de este recurso entre producción de alimentos y de agro energía.
- Su disponibilidad inmediata en la mayoría de los países de la región, lo cual implica garantía de oferta para la producción de bioetanol.
- La amplia experiencia y conocimiento en el cultivo existente en la región.
- La existencia de una agroindustria consolidada en casi todos los países de la región y, en particular, el *know how* de la industria azucarera en procesos de fermentación, destilación y manejo del alcohol (Sustaita, 2007).
- Tecnológicamente, el proceso de producción de etanol de caña de azúcar es más simple que el de etanol de cereales.
- El bioetanol de caña de azúcar presenta menores costos de producción con respecto al elaborado a partir de cereales²².
- Impacto favorable en economías regionales, dada la gran incidencia económica y social en diversas regiones de los países considerados, tales como la región Centro-Sur de Brasil, los valles y pueblos de la costa norte peruana, la región del Noroeste argentino o el valle del Cauca en Colombia, por citar algunos ejemplos representativos.
- Desde el punto de vista de la eficiencia energética y ambiental, dada la gran capacidad de la caña para acumular la energía solar, el balance energético y ambiental del etanol de caña es mucho más elevado que el de etanol elaborado con cereales.
- Casi toda la planta puede ser aprovechada para la generación de bioenergía: el tallo contiene principalmente jugo (con contenidos de azúcares que pueden transformarse en etanol por fermentación directa), sales minerales y almidón, entre sus principales constituyentes; contiene fibra

²² Incluso en Argentina, el país más competitivo de la región en producción cerealera, la producción de etanol de caña es menos costosa que la del etanol de maíz, aun considerando el valor de los subproductos de la molienda de este último. De acuerdo a un reciente estudio (Medina, J., *Insumos para la Producción de Biocombustibles Estudio Exploratorio*. INTEA – IES – INTA, marzo 2008), con un rendimiento de 85 litros de etanol por tonelada de caña procesada y un precio de US\$ 12,46/tn de caña, el costo de la materia prima es de 146,6 US\$/m³ de etanol producido; mientras que en el caso del maíz, considerando 2,5 toneladas de cereal por cada m³ de etanol y un precio interno de 126 US\$ /tonelada, el costo de materia prima es de 341 US\$/m³. Según dicho estudio, el valor de los subproductos de la molienda del maíz no puede cubrir esta diferencia de costos.



que, al extraerse el jugo puede servir como combustible para generar vapor en calderas apropiadas y energía eléctrica (bagazo); las hojas y el despunte de la planta pueden ser también empleados para generar vapor si se queman en calderas bagaceras (Cárdenas, 2007).

- Para el mediano-largo plazo, el bagazo de caña, representa posibilidades sumamente auspiciosas para ser utilizado como materia prima en la producción de etanol celulósico. Ello permitiría a la cadena regional del bioetanol contar con la posibilidad de una transición equilibrada desde los biocombustibles de primera generación hacia los de segunda generación, basada en la transferencia de habilidades distintivas desarrolladas endógenamente.

Entre las limitantes que presentaría la utilización de caña de azúcar como materia prima para la producción de bioetanol, pueden mencionarse las siguientes:

- En comparación con Brasil, en el resto de los países de la región la industria azucarera no ha estado orientada históricamente a la producción de bioetanol para su utilización como carburante. Ello requiere determinadas conversiones tecnológicas e inversiones, como por ejemplo, el agregado de destilerías para pasar de la producción de bioetanol hidratado a etanol anhidro y/o, según su factibilidad económica, pasar del modelo de producción de alcohol a partir de la melaza al modelo de producción a partir del jugo de la caña, mucho más eficiente en términos de rendimiento en litros por hectárea. En la producción de bioetanol a partir de la melaza, el alcohol es un subproducto de la producción de azúcar, mientras que el modelo de producción a partir del jugo, implica optar por producir azúcar o bioetanol. En este caso, entra en juego el dilema “biocombustibles vs. alimentos” para Venezuela, Chile y Uruguay, dado que son importadores netos de azúcar y verían afectada su disponibilidad. El resto de los países considerados dispone de saldos exportables de caña y/o azúcar, por lo que no se verían afectados por este dilema.
- La caña de azúcar presenta algunas limitantes relacionadas con su estacionalidad y su perecibilidad. Esto último tiene que ver con el hecho de que la caña de azúcar tiene una vida corta de almacenamiento. La industria azucarera ha extendido tradicionalmente su ciclo de procesamiento a través de la extracción y almacenamiento de los azúcares en la forma de melazas. En otros casos, como Perú y Colombia, la zafra se realiza durante todo el año. En algunos países, la industria del alcohol está evaluando la posibilidad de utilizar otros cultivos para extender las operaciones más allá del período de la zafra azucarera (sorgo granífero y maíz en el norte de Argentina, sorgo dulce en Brasil).
- La caña de azúcar es muy exigente en términos de requerimiento de agua, por lo que, bajo determinadas circunstancias, una expansión significativa podría dar lugar a una competencia por el uso del recurso en determinadas zonas. Esta limitante es factible de ser atenuada mediante investigación sobre requerimientos hídricos de la caña de azúcar y uso racional del agua²³.
- Determinados aspectos ambientales asociados a determinados modelos productivos del cultivo de caña de azúcar, como la cosecha con quema del cañaveral y la quema de los residuos de cosecha, con alto impacto negativo sobre el medio ambiente (en especial suelo y atmósfera). Esta limitante es factible de ser superada mediante la utilización de tecnologías limpias (“cosecha en verde”, mecanización, aprovechamiento de desechos del cañaveral, etc.).

²³ Por ejemplo, en Colombia, este tipo de investigaciones y la administración racional del agua han contribuido a reducir hasta en 50% el número de riegos por ciclo del cultivo, dando lugar a disminuciones en el consumo de agua y en los costos de producción de caña.

- En relación con lo anterior, si bien la caña de azúcar es un cultivo con mayor intensidad en el uso de mano de obra con relación a otras alternativas (como los cereales), la difusión de la cosecha mecanizada – necesaria para eliminar la necesidad de quemar los campos de caña antes de ser cosechados – implica un impacto negativo en los niveles de empleo directo.
- A nivel industrial, la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar genera corrientes de efluentes de potencial contaminante, como la cachaza y la vinaza de destilería de alcohol. Esta última se encuentra entre los residuales orgánicos de mayor efecto contaminante sobre el medioambiente. Al igual que en el caso de la quema, esta limitante puede ser superada mediante adecuados tratamientos y usos, como la utilización de la vinaza (tratada) para fertirriego o para producción de biogás, o la utilización de la cachaza como abono en los cañaverales.

Cereales

Los países de la región sembraron 36,2 millones de hectáreas y produjeron 132 millones de toneladas de cereales en 2007 (6% de la producción mundial). Los principales cereales producidos en América del Sur son el maíz (61% de la producción total de cereales), el trigo (16%), el arroz (16%) y el sorgo granífero (4%). La producción sudamericana de cereales se concentra mayoritariamente en los países del Cono Sur, específicamente en Brasil (50% de la producción) y Argentina (31%).

Dentro del grupo de cereales, los más valorados para la producción de bioetanol en algunos países de la región son, por disponibilidad inmediata y menores costos relativos, el maíz y el sorgo granífero.

Tabla 9.2.2.8: Producción total de cereales en Sudamérica. 2007. (Cifras en toneladas)

Producto	Total Sudamerica
Maíz	80.016.184
Trigo	20.956.889
Arroz Cascara	20.708.528
Sorgo	5.361.594
Cebada	2.499.270
Avena	1.192.411
Quinua	61.490
Centeno	24.752
Otros	23.680
Alpiste	11.490
TOTAL	130.856.288

Fuente: Elaborado por IICA - Argentina en base a estadísticas oficiales de los países y FAOSTAT

Gráfico 9.2.2.9: Composición de la producción Sudamérica de cereales. 2007.

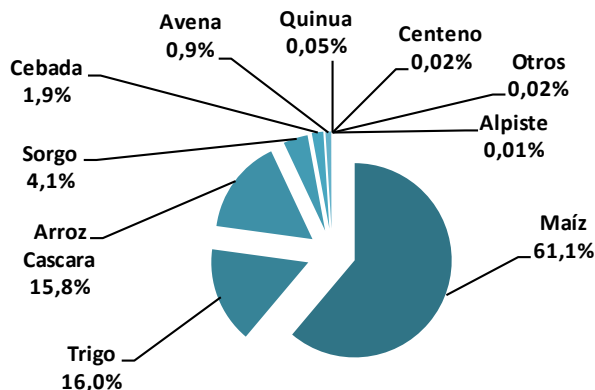
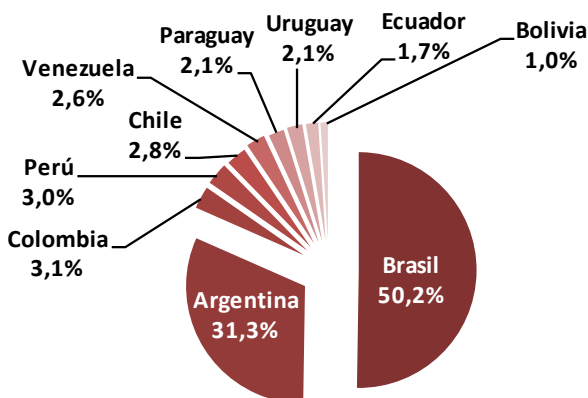


Gráfico 9.2.2.10: Cereales: participación en la producción por países



Maíz / Milho / Maize

Cultivo	<i>Maíz (Zea Mays)</i>
Características	Planta herbácea de ciclo anual oriunda de la región Andina de América Central, perteneciente a la familia de las gramíneas. El maíz es cultivado en climas desde templados a tropicales, durante periodos en los que las temperaturas medias diarias están por encima de 15°C y libres de heladas. La adaptabilidad de sus variedades en diferentes climas varía ampliamente. Se adapta bien a todos los tipos de suelo, pero menos en suelos muy arenosos o arcillosos muy densos y pesados. El suelo debería ser preferentemente bien aireado y bien drenado, ya que el cultivo es susceptible de anegamiento. El maíz es moderadamente sensitivo a la salinidad. Su demanda de fertilidad es relativamente alta. El grano de maíz tiene un elevado contenido en almidones y otros azúcares (hasta de un 70%). A partir del maíz se obtiene una amplia gama de alimentos y productos industriales, como así también forraje para la alimentación animal.
Requerimiento de agua	500-800 mm/año
Contenido de biomasa fermentable	70%
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	399

Subproductos /co-productos de su utilización para biocombustible

Vía molienda seca: Granos destilados húmedos y secos (DDGS, para alimentación animal) y anhídrido carbónico (utilizable como gasificante de las bebidas o para congelar carne).

Vía molienda húmeda: aceite de maíz, gluten feed y gluten meal (alimentación animal).

Rendimiento agrícola (tn/ha)	4,97 (media mundial)
Promedio región (ponderado)	4,33
Países con mayor rendimiento	Chile (11,61), Argentina (7,66), Uruguay (5,76) y Paraguay (5).
Potencial	Un buen rendimiento comercial del grano, bajo irrigación, es de 6 a 9 tn/ha. En siembra directa, con tecnología de punta, en Argentina: 12 tn/ha
Rendimiento etanol x ha (lts/ha)	1.983
Con rendimiento agrícola medio regional	1.728
En países de mayor rendimiento agrícola	1.995-4.628
Potencial	3.591-4.788

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; FAO Water Development and Management Unit y fuentes varias.

Tabla 9.2.2.11: Maíz en América del Sur – Estadísticas productivas y comerciales

2006-2007		Región Sur						Región Andina				Total
Cultivo	Variable/País	Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)	
Maíz	Área cultivada (hectáreas)	13.177.000	3.578.235	58.700	400.000	306.000	134.140	630.000	581.452	440.000	217.144	19.522.671
	Producción agrícola (toneladas)	47.924.000	21.755.364	338.200	2.000.000	686.000	1.557.087	2.104.000	1.655.074	880.000	1.116.459	80.016.184
	Rendimiento agrícola (ton/ha)	3,63	7,66	5,76	5,00	2,24	11,61	2,10	2,86	2,00	3,96	4,33
	Comercio exterior* Exportaciones	10.933.454	14.990.341	99.003	2.109.144	24.177	74.622	11	2.140	17.656	7.506	28.258.055
	Importaciones	1.095.539	4.209	46.807	12.638	14.404	1.763.606	528.252	3.322.831	562.341	1.570.865	8.921.492

(1) Fuente: MAPA - CONAB: Consolidado y Acompañamiento de la Zafra 2006/2007, 5° Levantamiento

(2) Fuente: Sagpya

(3) Fuente: MGAP-DIEA 2007

(4) Fuente: DGP/MAG 2007

(5) Fuente: FAO 2007. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(6) Fuente: Oficina de Estudios y Política Agropecuarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura -Gobierno de Chile- 2007.

(7) Fuente: FAO 2007. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

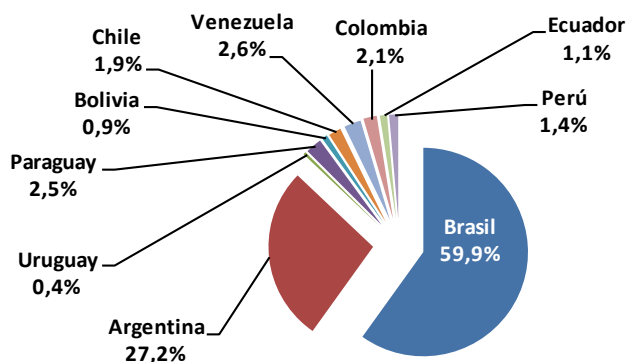
(8) Fuente Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Dirección de Política Sectorial. GSI. Preliminar 2007

(9) Fuente:FAO 2007. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(10) Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura - Dirección de Información Agraria. Preliminar 2007.

*Fuente: Un Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007.

Gráfico 9.2.2.12: Maíz: participación en la producción por países



El maíz constituye el principal cereal producido en América del Sur. En 2007, el área cultivada con maíz sumó 19,5 millones de hectáreas, con una producción de 80 millones de toneladas (10% de la producción mundial). El rendimiento agrícola alcanzado por la región en dicho año se ubicó en 4,33 tn/ha, por debajo de la media



mundial. No obstante, algunos países tienen altos rendimientos relativos, destacándose Chile (aunque con riego artificial), Argentina y Uruguay.

Los países de la región reflejan un marcado contraste en cuanto a la disponibilidad de maíz. Mientras los de la región sur concentran el 93% de la producción y, a excepción de Chile, poseen una posición exportadora neta del cereal, los de la región andina son importadores netos.

Los principales productores de maíz de la región son Brasil y Argentina, quienes disponen de muy altos saldos exportables (10,9 y 15 millones de toneladas, respectivamente, en 2007). Más allá de la destacada posición productiva y exportadora de Brasil, la utilización de maíz (y de cereales en general) para la producción de bioetanol es nula en este país, y ha carecido de interés económico, dadas sus sólidas ventajas competitivas para la producción de bioetanol de caña.

Argentina (segundo exportador mundial de maíz) y Paraguay cuentan además con muy elevados coeficientes de exportación, muy superiores a los registrados por otros grandes productores mundiales de maíz. En este sentido, el bioetanol representaría una oportunidad para el agregado de valor en las cadenas maiceras de estos países. Ambos países podrían cubrir holgadamente sus metas de uso doméstico de etanol con apenas una porción de sus saldos exportables. Por ejemplo, Argentina podría cubrir su requerimiento doméstico de E5²⁴ con apenas el 4% de su saldo exportable en 2007, mientras que Paraguay necesitaría el 7% de sus exportaciones de maíz en 2007 para cubrir su requerimiento doméstico de E24.

Si bien aún no existen plantas de bioetanol de maíz en la región, en Argentina esta alternativa es altamente valorada por el sector rural, dada la oportunidad que representa para el desarrollo de modelos organizacionales similares a los existentes en EE.UU., basados en el establecimiento de plantas de mediana escala, propiedad de sociedades y cooperativas de productores agropecuarios, cuyo formato se ajusta perfectamente a las prioridades previstas para la asignación del cupo fiscal establecido en el marco promocional de los biocombustibles vigente en este país.

La utilización de maíz como materia prima para bioetanol en países como Argentina y Paraguay también representa una oportunidad desde el punto de vista social, teniendo en cuenta que en estos países, respectivamente el 70% y el 83% de las explotaciones agrícolas que lo cultivan pertenece a la agricultura familiar.

Argentina es el país de la región con mayores posibilidades de utilización de maíz para la producción de bioetanol. Además de los elevados saldos exportables, el país cuenta con un muy alto nivel de experiencia y conocimiento en el cultivo, la cadena maicera está altamente organizada, y durante las últimas dos décadas, la producción de maíz se ha destacado por un muy alto nivel de dinamismo en términos de desarrollo tecnológico. Los rendimientos agrícolas se duplicaron durante dicho período, a partir del uso de nuevos híbridos con mayor potencial de rendimiento y mejor comportamiento frente a plagas y enfermedades, la progresiva adopción de la siembra directa, el uso de riego complementario, el incremento del área fertilizada y, más recientemente, la utilización creciente de materiales transgénicos que le han conferido resistencia a insectos y herbicidas.

Considerando un consumo doméstico de bioetanol proyectado en 315 millones de litros en 2010 y el rendimiento agrícola promedio de 2007, Argentina requeriría 785.000 toneladas de maíz y 102.000 hectáreas (501.000 toneladas y 65.000 hectáreas si se produce el maíz en siembra directa con tecnología de punta). Estas cifras representan apenas entre el 2% y el 4% de la producción de maíz del ciclo 2006/07, entre 2% y

²⁴ La Ley 26.093, de biocombustibles, establece la utilización obligatoria de E5 a partir de 2010.

3% del área sembrada con maíz y entre el 0,2% y el 0,4% del área sembrada con cereales y oleaginosas en dicho ciclo. Parte de esta expansión podría ser incluso cubierta con aumento de los rendimientos, dado el amplio margen de crecimiento existente aún al respecto, especialmente a partir de la utilización creciente de eventos transgénicos (en 2007 y 2008 se aprobaron en el país los primeros eventos de maíz con genes apilados).

A nivel industrial, si bien no existen plantas de bioetanol de maíz en operación en Argentina, tanto la tecnología de fermentación de su almidón como el rendimiento de producción a partir de los métodos de molienda seca o húmeda se encuentran actualmente maduros (Patrouilleau, 2008).

La utilización de maíz como materia prima para la producción de bioetanol en la región, presenta diversas limitantes:

- Como se señaló más arriba, los países de la región andina son importadores netos de maíz. En este sentido, importar la materia prima significa mayores costos, mientras que desviar su producción doméstica actual hacia la producción de bioetanol implica riesgos sobre la seguridad alimentaria, en términos de menor disponibilidad y acceso al maíz. Entre los países de la región sur, las mayores limitantes se encuentran en Chile. A diferencia los países andinos, Chile no produce caña de azúcar y el maíz ha sido identificado entre los más viables de los cultivos actualmente en producción que podrían utilizarse para producir bioetanol. Sin embargo, este país también es importador neto (con 1,8 millones de toneladas en 2007 es el principal importador de maíz en América del Sur, importando incluso más de lo que produce). Por su parte, Bolivia cuenta con un bajo coeficiente de exportaciones netas de maíz y muy reducidos saldos exportables (con las exportaciones de maíz de 2007 apenas cubriría un 0,5% de su consumo doméstico de gasolina). Por otro lado, Uruguay necesitaría de una alta proporción de sus exportaciones de maíz para cubrir su requerimiento doméstico de E5 (67% de la cantidad exportada en 2007).
- Su menor rendimiento en litros por hectárea en comparación con el bioetanol de caña lo convierte en un cultivo menos eficiente en términos de utilización del recurso tierra.
- Su elevado requerimiento de nitrógeno en comparación con otras materias primas potencialmente utilizables para la producción de etanol.
- En comparación con la producción de etanol de caña, la tecnología de producción de etanol a partir del maíz es más compleja, ya que requiere de más procesos al tener que degradar las moléculas de almidón para transformarlo en azúcares solubles para su fermentación (en el caso del jugo y la melaza de caña, la sacarosa puede ser directamente fermentada). Este proceso representa costos adicionales en términos de equipamiento, mano de obra y uso de energía.
- Relacionado con lo anterior, una de las principales limitaciones del maíz (y de los cereales en general) como materia prima para etanol es su desventaja en costos en comparación con la caña de azúcar. A su vez, si se considera la posibilidad de exportación, el bioetanol de maíz debería competir con el bioetanol de caña brasileño (el más barato del mundo) y con el bioetanol de maíz altamente subsidiado de EE.UU.
- Desde el punto de vista de la eficiencia energética y ambiental, el bioetanol de maíz presenta balances energéticos y ambientales sustancialmente inferiores a los del bioetanol de caña de azúcar. En el caso de su eventual producción orientada a la exportación, este aspecto también lo sitúa en una



situación de riesgo en los mercados mundiales, en función del nivel de exigencia de ahorro de emisiones de GEI que alcancen los inminentes criterios y sistemas de certificación de sustentabilidad.

- Otros factores de vulnerabilidad relevantes tienen que ver con su amplia utilización como materia prima de diversas ramas de la industria agroalimentaria y por tratarse de un componente básico en la alimentación humana y animal, aspecto que lo ha posicionado en el centro de la controversia del debate alimentos vs. biocombustibles y que podría dar lugar a futuras restricciones en el mercado mundial. A su vez, el hecho de que sea la materia prima utilizada por EE.UU., principal productor mundial de bioetanol y con perspectivas de alto crecimiento en su demanda, representa perspectivas de altos precios a futuro, lo cual pondría en riesgo la sustentabilidad económica de los proyectos de bioetanol basados exclusivamente en maíz. Vale señalar que en el caso específico de Argentina, la utilización de maíz para satisfacer un mercado doméstico de E5 no tendría impacto en la seguridad alimentaria interna (dados sus saldos exportables) ni mundial (el requerimiento de maíz representaría apenas el 4% de las exportaciones argentinas de maíz, el 0,7% de las exportaciones mundiales y el 0,1% de la producción mundial). Este mismo argumento es aplicable también al caso de Paraguay.

Uno de los principales atractivos que presenta el bioetanol de maíz es la posibilidad de desarrollar modelos integrados con las actividades pecuarias, teniendo en cuenta que en el proceso de molienda seca se obtienen como co-producto granos destilados secos con solubles (DDGS), altamente valorados y nutritivos para la alimentación animal²⁵. Se trata de modelos que demuestran que la producción de bioetanol de maíz y de alimentos puede ser perfectamente complementaria. En casos como el de Argentina, que tiene la imperiosa necesidad de reforzar sus producciones pecuarias, el maíz se perfila como un cultivo propicio para la integración vertical combinando la actividad agrícola para producción de bioetanol con la utilización de sus co-productos para producción de proteína animal (Patrouilleau, 2008)²⁶. A su vez, el silaje de maíz puede ser utilizado para producir biogás, y las hojas y el tallo del maíz representan una posibilidad para la producción de etanol celulósico.

²⁵ En EE.UU., principal productor mundial de etanol de maíz, en 2007 las plantas de etanol produjeron 14,6 millones de toneladas de granos destilados. El 84% de esta producción tuvo como destino la alimentación de animales rumiantes (42% ganado lechero y 42% ganado de carne, respectivamente), mientras que el resto se distribuyó en ganado porcino (11%) y aviar (5%).

²⁶ Uno de los principales proyectos de etanol previstos en Argentina, anunciado por la empresa Adecoagro, integrará la producción de lácteos, bioetanol a base de maíz y biogás. Se trata de un proyecto de gran escala (contemplará el procesado anual de 500.000 toneladas de maíz), con una inversión de US\$ 390 millones. Uno de los principales desafíos es fomentar la viabilidad de este tipo de modelos para el caso de proyectos de plantas de mediana escala que integren horizontalmente a pequeños y medianos productores de maíz.

Sorgo granífero/ Sorgo / Sorghum

Cultivo	Sorgo (<i>Sorghum Vulgare</i>)
Características	<p>Planta herbácea de la familia de las gramíneas. Se trata de una planta anual o perenne, herbácea, de tallos erectos y delgados y hojas alargadas. Originario de los trópicos de África y Asia, posee amplia adaptación geográfica y se ha difundido en los cinco continentes. Se destaca por su alta resistencia a la sequía y altas temperaturas. Su resistencia a la sequía se debe a que este cultivo tiene poca abundancia de hojas, y sus tallos se encuentran protegidos por una cera vegetal. La temperatura óptima para variedades de alto rendimiento ronda los 25°, pero existen variedades adaptadas para menores temperaturas que generan rendimientos aceptables. El sorgo se desarrolla bien en casi todos los tipos de suelos, tanto en los suelos arenosos como en los arcillosos, pero lo hace mejor en suelos de textura liviana a media. El suelo debería ser preferentemente bien aireado y bien drenado. El sorgo es moderadamente sensitivo a la salinidad. Sus requerimientos de fertilidad son inferiores a los del maíz, relativamente bajos en fósforo y potasio y altos en nitrógeno. El sorgo se utiliza para consumo humano (principalmente en el sur de Asia, África y América Central), para forraje para ganado, para la elaboración de alimentos balanceados para alimentación de bovinos y porcinos y para uso industrial en molinera húmeda (amilasa, bebidas alcohólicas, etc.) y molinera seca (harina).</p>
Requerimiento de agua	450 - 650 mm
Contenido de biomasa fermentable	70%
Subproductos /co-productos de su utilización para biocombustible	Cuando se extrae almidón del grano de sorgo, los subproductos de este proceso, el gluten de sorgo, o la harina de gluten de sorgo, pueden utilizarse como piensos. Del proceso de producción de etanol se obtienen granos destilados húmedos y secos y anhídrido carbónico.
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	380
Rendimiento agrícola (tn/ha)	1,47 (media mundial)
Promedio región (ponderado)	3,24
Países con mayor rendimiento	Argentina (4,70), Uruguay (3,80) y Colombia (3,70)
Potencial	Un buen rendimiento bajo irrigación es de 3,5 a 5 tn/ha. Existen híbridos que pueden rendir entre 8 y 12 tn/ha.
Rendimiento etanol x ha (lts/ha)	559
Con rendimiento agrícola medio regional	1.231
En países de mayor rendimiento agrícola	1.406-1.786
Potencial	3.040-4.560

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; FAO Water Development and Management Unit y fuentes varias

Tabla 9.2.2.13: Sorgo granífero en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales

2006-2007		Región Sur						Región Andina				Total	
Cultivo	Variable/País	Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)		
Sorgo	Área cultivada (hectáreas)	722.000	700.000	42.900	11.120	55.000	-	232.000	31.970	5.000	24	1.800.014	
	Producción agrícola (toneladas)	1.601.000	2.794.967	163.200	25.085	150.000	-	498.000	118.289	11.000	53	5.361.594	
	Rendimiento agrícola (ton/ha)	2,21	4,70	3,80	2,26	2,72	-	2,14	3,70	2,20	2,41	3,24	
	Comercio exterior*	Exportaciones	225.430	1.071.717	38	6.238	10.867	51	2	0	0	35	1.314.378
		Importaciones	2.513	1.697	2.311	553	1.789	128.213	485	67.280	40	21.761	226.643

(1) Fuente: MAPA - CONAB: Consolidado y Acompañamiento de la Zafra 2006/2007, 5° Levantamiento

(2) Fuente: Sagpya

(3) Fuente: MGAP-DIEA

(4) Fuente: DGP/MAG 2007

(5) Fuente: FAO 2007. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(6) Fuente: -

(7) Fuente: FAO 2007. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

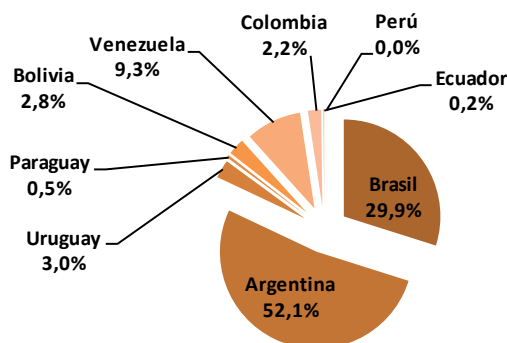
(8) Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Dirección de Política Sectorial. GSI. Preliminar 2007

(9) Fuente: FAO 2007. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(10) Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura - Dirección de Información Agraria. Preliminar 2006/07.

*Fuente: Un Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007.

El sorgo granífero es el cuarto cereal de mayor importancia en el mundo y en América del Sur. El área plantada en la región sumó 1,8 millones de hectáreas en 2007, con una producción de 5,36 millones de toneladas (8% de la producción mundial). El rendimiento agrícola promedio alcanzado por la región en dicho año se ubicó en 3,24 tn/ha, más que duplicando la media mundial. Los mayores rendimientos se obtienen en Argentina, Uruguay y Colombia.

Gráfico 9.2.2.14: Sorgo – participación en la producción por países


Argentina concentra más de la mitad de la producción regional de sorgo, siguiéndole, en orden de importancia Brasil y Venezuela. Al igual que en el caso del maíz, se observa un marcado contraste entre los países del cono sur y los de la región andina en cuanto a la disponibilidad de sorgo. El cono sur concentra el 86% de la producción y es exportador neto de sorgo, mientras que la región andina es importadora neta. A su vez, entre los países del cono sur también se presenta heterogeneidad. Chile no produce sorgo, Paraguay registra un saldo exportable casi nulo y Uruguay registra una posición importadora neta, mientras que Argentina, Brasil y Bolivia son exportadores netos del cereal. Si bien la región en su totalidad exporta el 25% de su producción, el 82% de las exportaciones están concentradas en un solo país, Argentina, que se destaca por ser el segundo exportador mundial de sorgo.

Al igual que en el caso del maíz, la utilización de sorgo como materia prima para la producción de bioetanol no está difundida en los países de la región. Vale señalar el caso de Argentina, en donde existen dos plantas



de producción de alcohol a base de cereales que utilizan casi exclusivamente sorgo para la obtención de alcohol, aunque la producción no tiene como destino el uso como carburante, sino que se destina principalmente a las industrias de bebidas y cosméticos.

La utilización de sorgo como materia prima para la producción de bioetanol presenta algunos atractivos, en comparación con el maíz. Agronómicamente, se destaca por su mayor resistencia a la sequía, a las altas temperaturas y por su menor necesidad de agua. En este sentido, cuenta con potencial para desarrollarse en zonas semiáridas, adonde no resultaría posible cultivar maíz u otros cultivos más exigentes. Sus rendimientos son más estables en zonas marginales y, además, la variabilidad genética del cultivo le otorga una gran plasticidad para adaptarse y elevar su potencial de rendimiento, en distintos ambientes y distintos tipos de utilización (INTA). Además, el sorgo es un cultivar muy eficiente en la captación de carbono. Desde el punto de vista económico, el sorgo suele ser relativamente más barato que el maíz, aunque sus precios están fuertemente correlacionados. Por otro lado, cabe señalar que el rendimiento en litros de etanol de sorgo por hectárea es inferior al del maíz.

La disponibilidad actual de sorgo en la región, es mucho menor que la de caña y la de maíz, incluso en Argentina, que como se mencionó, dispone de saldos exportables. En este país, para cubrir el consumo doméstico de etanol previsto para 2010, se requerirían 824.000 toneladas de sorgo y 175.000 hectáreas. Estas cifras representan el 29% de la producción, el 25% del área sembrada con sorgo en el ciclo 2006/07 y el 77% de sus exportaciones. De todos modos, estos requerimientos implican la utilización de apenas el 0,7% del área sembrada con cereales y oleaginosas y la expansión del área con sorgo es altamente factible por las razones expuestas en el párrafo anterior.

9.2.2.2 Materias primas alternativas

Yuca / Mandioca / Cassava

Cultivo	Mandioca (<i>Manihot esculenta</i>)
Características	<p>También conocido como yuca, tapioca o casava, la mandioca es un arbusto leñoso perenne, perteneciente a la familia Euforbiáceas. Es uno de los mayores productores de almidón que se encuentra en los trópicos. Probablemente originaria de la América Tropical y el Nordeste de Brasil, hoy se la cultiva en las regiones tropicales y subtropicales de América Latina, África y Asia. Puede ser cultivada en altitudes que varían desde próximas al nivel del mar hasta 1000 metros, con períodos vegetativos que van desde 8 a 12 y en algunos casos de 18 a 24 meses. La temperatura media ideal para su desarrollo oscila entre los 18 y 35°C (óptimo 25 - 30°C), siendo 10°C la temperatura mínima que puede tolerar. Días cortos, con menos de 12 horas de luz, favorecen el engrosamiento de la raíz. Es muy tolerante a la sequía y posee amplia adaptación a las más variadas condiciones de clima y suelo. Se adapta bien a los suelos ácidos y poco fértiles. Los suelos más recomendados son los profundos, con textura media de buen drenaje, no se recomienda su cultivo en suelos muy arenosos y en los de exceso de agua permanente. Es un cultivo nutricionalmente exigente, especialmente en potasio (su falta reduce mucho el rendimiento y el contenido de almidón), y alto extractor de nutrientes del suelo, por lo que mantener la fertilidad del suelo requiere aplicar la cantidad de nutrientes que el cultivo haya absorbido. Más allá de su adaptación a suelos de baja fertilidad, el potencial máximo de producción de la mandioca se alcanza con abonado adecuado. Comercialmente, la parte más importante de la planta es la raíz, que tiene un alto contenido de almidón, lo cual la convierte en una buena fuente de energía. La mandioca es la base de muchos productos. En África y Latinoamérica se la utiliza principalmente para consumo humano (raíz y harina de mandioca), mientras que en Asia y partes de Latinoamérica se utiliza también para alimentación animal (raíces y parte aérea o silaje de la parte aérea) y productos basados en su almidón (insumos para las industrias de alimentos, textil, cosmética, papelería y biocombustibles). (CLAYUCA, IICA, CEPLAC, EMBRAPA, CENIAP, IITA).</p>
Requerimiento de agua	Necesita bastante humedad en el período de establecimiento. Luego de la germinación y el establecimiento, las exigencias de agua son mínimas (500 mm/año como precipitación mínima para obtener producción).
Contenido de almidón	74%-85% de su peso seco total en raíces
Subproductos / co-productos de su utilización para biocombustible	La parte aérea de la mandioca puede utilizarse como silaje para alimentación animal. El orujo de mandioca, el residuo de la extracción del almidón de las raíces, tiene menos valor que la harina de la raíz, pero puede incluirse en las raciones para ganado bovino (en Asia se emplea también para alimentación de cerdos) y se ha utilizado en raciones para aves de corral hasta un 10% (FAO: Sistema de información de los recursos del pienso). La vinaza puede utilizarse como bio-fertilizante.
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	180
Rendimiento agrícola (tn/ha)	12,16 (media mundial)
Promedio región (ponderado)	13,82
Países con mayor rendimiento	Paraguay (17), Brasil (14)
Potencial	> 35 tn/ha con variedades mejoradas, buen manejo, temperatura anual 22-28°C, 1000 mm/año de pluviosidad bien distribuida, alta fertilidad del suelo y uso de fertilizantes sólo para conservar la fertilidad del suelo (mantenimiento) y tratamiento de estacas (con fungicidas e insecticidas) (Cock, 1989). En condiciones experimentales se han obtenido rendimientos superiores a las 60 tn/ha.
Rendimiento etanol x ha (lts/ha)	2.189
Con rendimiento agrícola medio regional	2.488
En países de mayor rendimiento agrícola	2.520-3.060
Potencial	> 6.300

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; y fuentes varias.

Tabla 9.2.2.15: Mandioca en América del Sur – estadísticas productivas y comerciales

2006-2007		Región Sur						Región Andina				Total	
Cultivo	Variable/País	Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)		
Mandioca	Área cultivada (hectáreas)	1.941.000	17.500	n.d.	300.000	36.366	n.d.	41.651	199.667	31.257	55.504	2.622.945	
	Producción agrícola (toneladas)	27.222.000	175.000	n.d.	4.800.000	371.280	n.d.	489.177	2.111.005	172.027	1.154.954	36.495.443	
	Rendimiento agrícola (ton/ha)	14,0	10,0	n.d.	17,0	10,2	n.d.	11,7	10,6	5,5	11,2	13,8	
	Comercio exterior* (toneladas)	Exportaciones	433	0	0	7.050	0	0	29	118	22.362	0	29.992
		Importaciones	5.737	0	14	0	0	58	0	20.955	0	42	26.805
	Producción de subproductos		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

(1) Fuente: IBGE - Producción agrícola municipal y levantamiento sistemático de la producción agrícola. Estadística en área cosechada. Preliminar 2007

(2) Fuente: FAOSTAT. El dato de área corresponde a cosechada.

(3) Fuente: -

(4) Fuente: DGP/MAG

(5) Fuente: Instituto Nacional de Estadística -Bolivia- Preliminar 2006

(6) Fuente: -

(7) Fuente: MAT. Preliminar 2006

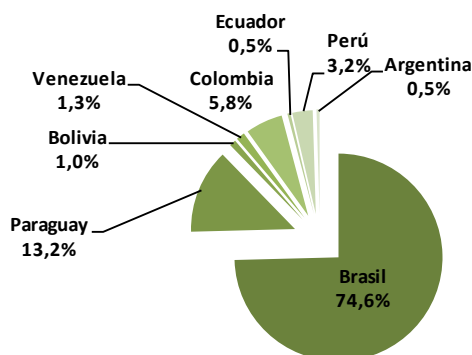
(8) Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Dirección de Política Sectorial. GSI. Preliminar 2007. Estadística Yuca Tradicional e Industrial. Rendimiento ponderado

(9) Fuente: MAG/SIAGRO. Datos provisionales 2007.

(10) Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura - Dirección de Información Agraria. Preliminar 2006/07.

*Fuente: Un Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007, excepto Venezuela cuyo último dato disponible corresponde a 2006.

Gráfico 9.2.2.16: Mandioca – participación en la producción por países



La mandioca constituye el alimento básico de millones de campesinos de bajos ingresos de África, Asia y América Latina. A su vez, es considerada como una fuente potencial de etanol, teniendo en cuenta el alto contenido de almidón de sus raíces y el hecho de que el 10% de la producción mundial de almidón se produce a partir de este cultivo (FAO).

Sudamérica posee una producción significativa de mandioca, de alrededor de 36,5 millones de toneladas en 2007 (16% de la producción mundial). Brasil concentra el 75% de la producción de la región, seguido en orden de importancia por Paraguay y Colombia.

Existen experiencias de producción de etanol a partir de la mandioca, tanto en el mundo (Tailandia, China e Indonesia), como en la región (Brasil y Colombia).

Brasil es el segundo productor mundial de mandioca, con más de 27 millones de toneladas producidas en el año 2007. La mandioca se cultiva en todo el país, aunque alrededor del 50% de la producción se concentra en los estados de Pará, Bahía y Paraná. Entre mediados de las décadas del '70 y '80 se instalaron 6 usinas de etanol de mandioca, en el marco del Programa Nacional del Alcohol (PROALCOOL), las cuales se mostraron finalmente inviables por haber sido construidas en regiones poco tradicionales para la producción de mandioca y ante el desempeño de la producción del etanol de caña de azúcar (Felipe y Alves, 2007). En los últimos años se retomó el interés por esta materia prima, ya que se la considera como una alternativa para

la obtención de renta para la agricultura familiar, especialmente en las regiones Norte y Nordeste del país. En esta última región ya existen algunas unidades en fase de implantación, al tiempo que EMBRAPA ha intensificado los trabajos de mejoramiento genético de la mandioca para la producción de etanol (CEPEA, 2007). También vale destacar el desarrollo tecnológico del cultivo, alcanzado principalmente en los estados de Paraná, Sao Paulo (donde se obtienen rendimientos del orden de las 26 tn/ha) y Mato Grosso del Sur. En el área limítrofe de estos tres estados se formó un importante complejo industrial que produce y procesa aproximadamente 6 millones de toneladas de raíces de mandioca para harina y almidón, como así también una industria de insumos especializados para su cultivo, dando lugar a que la región constituya un punto de referencia mundial (Ereno, 2008). En 2007 entró en consideración un proyecto de ley que prevé la reducción de impuestos para agentes que comercialicen etanol de mandioca.

En Paraguay, segundo productor de mandioca de la región, el almidón de mandioca es un producto tradicional, utilizado como alimento básico de la población rural y de los centros urbanos. La producción de mandioca se encuentra concentrada en los departamentos de San Pedro, Caaguazú, Canindeyú, Alto Paraná e Itapúa, quienes reúnen más del 75% de la superficie total cultivada. De acuerdo al MAG, Paraguay cuenta con una buena diversidad de variedades de mandioca, aunque el sistema de producción que emplean los productores de mandioca está basado en prácticas tradicionales, sin incorporar las nuevas tecnologías que requieren el cultivo. Se intenta lograr que los productores de mandioca sean capacitados en técnicas modernas de producción del cultivo para satisfacer la demanda del consumo en fresco, a las industrias procesadora y el desarrollo de nuevos productos, para lo cual se implementó el programa Nacional de la Mandioca 2003/08 (IICA/REDPA/CAS, 2008). Si bien la producción de etanol de mandioca no tiene larga tradición en Paraguay, existen diversas experimentaciones y proyectos que tienen en cuenta esta materia prima.

En Colombia, tercer productor de la región, la mandioca es un cultivo típico de la economía campesina, con un promedio de área sembrada por finca de 1 a 5 hectáreas y sistemas de producción atrasados. En este país se han anunciado algunos proyectos que apuntan a producir etanol de mandioca (en los departamentos de Cesar, Meta y Sucre), como así también una planta piloto en funcionamiento, construida en la Universidad de Antioquía, con cofinanciamiento del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en el marco del *Programa de Fortalecimiento de la Cadena de Bioetanol a partir de Yuca, su Evaluación y Coproducto*.

La utilización de mandioca para la producción de etanol presenta, entre otras, las siguientes ventajas y oportunidades:

- Desde el punto de vista agrícola, la mandioca posee varias ventajas, tales como su alto rendimiento potencial por hectárea, alta flexibilidad para siembra y cosecha, la tolerancia a la sequía y a suelos degradados, alta resistencia a insectos y requerimiento de cuidados culturales mínimos (FAO, 2006, CENIAP).
- En línea con lo anterior, podría cultivarse en suelos pobres o en tierras marginales en donde la producción de otros cultivos presenta alto riesgo o no son factibles. La mandioca podría representar, por ejemplo, una alternativa más viable en regiones con clima desfavorable para la caña de azúcar, donde se obtienen rendimientos más altos de la primera, debido a su gran capacidad de adaptación.
- Como fuente de almidón, la mandioca es muy competitiva, ya que su raíz posee un muy elevado contenido almidón por peso en seco y el mismo es fácil de obtener con tecnologías sencillas (FAO, 2006). Se trata de una de las fuentes de almidón más baratas que existen, siendo utilizada en más de 300 productos industriales.

- Más allá de sus bajos niveles de rendimiento actual, la mandioca posee un alto rendimiento potencial, con variedades que han superado las 60 tn/ha²⁷. Estas cifras representarían un potencial de más de 10.800 litros de etanol por hectárea.
- Se trata de un cultivo social, tradicionalmente desarrollado por pequeños agricultores de escasos recursos e intensivo en la utilización de mano de obra, por lo que la conversión de esta materia prima en almidones de alto valor podría fortalecer la economía rural, incrementar los ingresos de los productores en muchos países en desarrollo (FAO, 2006) o brindar un nuevo mercado a las comunidades campesinas productoras de mandioca, para la canalización de sus excedentes.
- La mandioca es una de las especies más cultivadas en asociación con otros cultivos. Por ejemplo, en Brasil se la planta simultáneamente con maíz, frijoles y maní, permitiendo obtener mayores ingresos al agricultor.
- A diferencia de la caña de azúcar, no presenta problemas de estacionalidad, ya que puede ser producida durante el año entero, dando lugar a una mejor utilización de la capacidad de producción instalada y a un menor requerimiento de capacidad de almacenamiento para el período entre cosechas (FAO-CEPAL-BNDES). Además, como las raíces de la mandioca pueden ser almacenadas en el suelo hasta 24 meses (algunas variedades hasta 36 meses) sin perder e incluso incrementándose la productividad, las cosechas pueden ser demoradas hasta que las condiciones de mercado, procesamiento u otras sean favorables (IITA).

A su vez, la mandioca presenta restricciones de diversa índole a la hora de evaluarla como alternativa para la producción de etanol, entre ellas pueden mencionarse las siguientes:

- A nivel agrícola, los niveles de rendimiento actual son muy bajos, debido a que usualmente se la produce utilizando muy escasa tecnología por parte de los agricultores familiares. Ello da lugar a un bajo rendimiento en litros de etanol por hectárea en comparación con el obtenido a partir de la caña.
- En línea con lo anterior, la mandioca es considerada un “cultivo huérfano”: cultivada por pequeños agricultores, a menudo aislados de los canales de distribución y de las industrias de elaboración de productos, principalmente en zonas que tienen reducido o nulo acceso a variedades mejoradas, fertilizantes y otros insumos productivos (FAO, 2008). Al respecto, FAO destaca que los gobiernos aún no han realizado las inversiones necesarias para impulsar su valor añadido, que harían que los productos del almidón de mandioca fueran competitivos a nivel internacional, como así tampoco ha sido significativa la inversión en la mejora de este cultivo, muy inferior a la destinada a otros cultivos básicos para la alimentación (dando lugar al menor aumento de la productividad de la mandioca a lo largo las últimas 3 décadas: menos del 1% anual).
- Otras desventajas que presenta la mandioca se refieren a su alta perecibilidad (las raíces sufren un rápido deterioro fisiológico de poscosecha), debiendo ser consumidas en sus primeros días de cosecha, y al hecho de que es un producto voluminoso por su alto contenido de agua, lo cual representaría mayores costos de transporte a planta en comparación con otros cultivos.
- En relación con el procesamiento, al igual que en el caso de otras materias primas amiláceas como el maíz, la tecnología de producción de etanol a partir del mandioca es más compleja que en el caso de

²⁷ De acuerdo al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia ostenta el récord rendimiento de 84 t/ha en un área extensa (9.5 hectáreas), con una variedad industrial desarrollada por dicha institución.



la caña de azúcar, ya que requiere de más procesos y de la utilización de enzimas (cuyos costos aún son elevados) para degradar las moléculas de almidón para transformarlo en azúcares solubles para su fermentación²⁸.

- Relacionado con lo anterior, y con la baja productividad agrícola actual, una de las principales limitaciones del etanol de mandioca es su desventaja en costos en comparación con el de caña de azúcar.
- La mandioca representa riesgos desde el punto de vista del agotamiento de suelos (su recolección afloja el suelo y si éste permanece descubierto, las lluvias y el viento aceleran procesos de erosión y degradación), aunque existen métodos de siembra y recolección, así como prácticas poscosecha del suelo, que pueden evitar estos problemas. A su vez, la mandioca es uno de los cultivos tropicales que más absorbe nutrientes del suelo. Al ser un alto extractor de nutrientes del suelo, su cultivo en forma consecutiva disminuye paulatinamente sus rendimientos. Para mantener la fertilidad del suelo se requiere reponer y mantener el nivel adecuado de nutrientes mediante fertilización y/o rotación de cultivos.
- Además de la vinaza, no existen co-productos de valor significativo en el proceso de producción de etanol de mandioca (FAO-CEPAL-BNDES). El orujo de mandioca (harina resultante de la extracción del almidón de las raíces) tiene menos valor que la harina de raíz de mandioca (FAO, Sistema de información de los recursos del pienso).
- La mandioca representa un alimento básico de poblaciones pobres en las zonas tropicales. En este sentido, su utilización para la producción de etanol debería considerar detenidamente sus efectos sobre la producción y seguridad alimentaria (FAO). Un uso masivo y a gran escala de mandioca para etanol podría tener implicancias negativas para los hogares urbanos pobres cuya dieta básica descansa en este alimento.

²⁸ A través de la ingeniería genética, pueden desarrollarse variedades de mandioca que, en vez de almidón, acumulen mayor cantidad de sacarosa en sus raíces (mandioca azucarada), pero en este caso la desventaja sería que la raíz requeriría de una cantidad mucho mayor de agua a los efectos de mantener la sacarosa en forma soluble (Buckeridge, 2007). A fines de 2008, EMBRAPA anunció el desarrollo de una variedad de mandioca con alto contenido de azúcar en lugar de almidón, con lo cual se evitaría el proceso de hidrólisis, reduciéndose así el costo energético para la producción de etanol.

Remolacha azucarera / Beterraba / Sugar beet

Cultivo	Remolacha Azucarera (<i>Beta vulgaris</i> Var. <i>Saccharifera</i>)
Características	<p>La remolacha azucarera es una hortaliza de raíz redonda perteneciente a la familia de las quenapodiáceas, probablemente originaria de Asia. El cultivo crece en diferentes climas. La germinación de la semilla es posible a 5°C, pero el mínimo efectivo debería ser de 7°-10°C; durante el crecimiento vegetativo son deseables mayores temperaturas, pero los altos rendimientos en azúcar se obtienen cuando la temperatura nocturna es 15-20°C y la diurna 20-25°C durante la última parte del período de crecimiento. Durante este período temperaturas > 30°C disminuyen su rendimiento. Requiere de mucha insolación, en áreas sombreadas se reducen considerablemente los rendimientos. La remolacha azucarera ha sido tradicionalmente cultivada en países y regiones de clima templado, aunque el reciente desarrollo de variedades tropicales de remolacha azucarera abre las puertas a su expansión en los trópicos y subtropicos. El cultivo se adapta a una amplia variedad de suelos, aunque son preferibles los de textura media o ligeramente pesada, bien drenados y profundos. En suelos arcillosos y pesados se obtienen producciones limitadas en peso de raíz, aunque su riqueza sacarosa es más alta. Valores de pH en suelo < 5,5 no son favorables para el crecimiento de la remolacha. Tiene buena tolerancia a la salinidad del suelo, excepto en la fase inicial de crecimiento durante el establecimiento del cultivo. Requiere adecuada cantidad de nitrógeno para asegurar un máximo crecimiento vegetativo temprano, aunque en cantidad excesiva o aplicaciones tardías durante la fase de crecimiento genera reducción en el contenido de azúcar. Las aplicaciones de fertilizantes deberían ser las siguientes: N: hasta 150 Kg./ha, P: 50-70 Kg./ha al plantarla, K: 100-160 Kg./ha. La remolacha azucarera requiere un manejo muy cuidadoso del cultivo y la post-cosecha para lograr rendimientos razonables. Si bien es un cultivo bianual, para la producción de azúcar la remolacha es cosechada en el primer año. El principal componente comercial de la remolacha es su raíz tuberosa, de la cual se obtiene azúcar, usualmente utilizada como endulzante, o es consumida como vegetal (FAO, PFAF, CENIAP, López Bellido, 2003)</p>
Requerimiento de agua	550-750 mm. La remolacha azucarera es particularmente sensitiva a los déficit de agua al momento de la emergencia del cultivo y en el período de alrededor de un mes después de la emergencia. Irrigaciones leves y frecuentes son preferibles durante este período, y la irrigación también podría requerirse para reducir la formación de costras en el suelo y para reducir la salinidad del tope del suelo (FAO)
Contenido de biomasa fermentable	15%
Subproductos / co-productos de su utilización para biocombustible	Las hojas y cuellos de la remolacha pueden ser recolectados y ensilados para forraje o ser incorporados al suelo para mejorar su fertilidad. Los cuellos y la pulpa de la remolacha (residuo que queda después de la extracción del jugo de la raíz) se utilizan para alimentar ganado, especialmente vacas lecheras y vacuno de engorde, y mascotas (pulpa). La pulpa podría también presentar posibilidades de uso en alimentación humana, como fuente de pectinas (de peor calidad que cítricos y papa) o para la producción de fibras alimenticias (requiere tratamiento previo por alto contenido de ceniza). Las vinazas de melazas (obtenidas luego de la fermentación de la melaza) pueden utilizarse para alimentación animal y como fertilizante. Las espumas de azucarería también pueden ser reutilizadas como fertilizante. (López Bellido, 2006). Las hojas, cuellos y residuos de la fermentación alcohólica son utilizables para la producción de biogás.
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	110
Rendimiento agrícola (tn/ha)	46,8 (media mundial)
Rendimiento Sudamérica	74,4
Países con mayor rendimiento	Chile (81,4)
Potencial	Un buen rendimiento comercial (para remolacha de 160-200 días) es de 40-60 tn/ha) y bajo ciertas condiciones se obtienen entre 70 y 80 tn/ha (FAO). En Chile, en la temporada 2007-08 los rendimientos oscilaron, según la región, entre 80 y 124 tn/ha (ODEPA). Para la variedad de remolacha azucarera tropical, Syngenta reporta que los agricultores experimentados pueden alcanzar rendimientos mayores a 100 toneladas por hectárea si implementan buenas labores de fertilización, preparación de suelo, siembra, riego, así como un control eficaz e integrado de malezas, plagas y enfermedades. En Colombia, se han obtenido rendimientos de 120 tn/ha en cultivos experimentales con dicha variedad.
Rendimiento etanol x ha (lts/ha)	5.148

Con rend. agrícola regional	8.184
En países de mayor rend. agrícola	8.954
Potencial	8.800-13.200

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; FAO Water Development and Management Unit y fuentes varias.

La remolacha azucarera provee alrededor del 16% de la producción mundial de azúcar, y es usualmente considerada como una de las materias primas con mayor potencial para la producción de etanol, especialmente en las regiones de clima templado, junto a la caña de azúcar y el sorgo dulce.

A pesar de su importancia en la producción mundial de azúcar, la remolacha azucarera no es un cultivo extendido en América del Sur. Alrededor del 99% de la producción sudamericana de remolacha estaría concentrada en Chile, país que produjo 1,8 millones de toneladas en 2006-07 (0,7% de la producción mundial), seguido en orden de importancia por Venezuela (22.700 toneladas).

En Chile, la remolacha azucarera, que se cultiva principalmente en las regiones de Bío Bío y Maule, se presenta como una de las alternativas con mayores posibilidades para la producción de etanol. Tanto el rendimiento agrícola como el contenido de azúcar de la remolacha alcanzados en este país son los más altos del mundo (ODEPA, 2007). El nivel de tecnología del cultivo de remolacha chilena es elevado, con la totalidad de la superficie sembrada utilizando semillas monogérmicas (algunas de ellas tolerantes a enfermedades fungosas típicas del cultivo), con alto rendimiento en raíz e industrial, de rápido cubrimiento de entre hileras (control natural para la emergencia de malezas) y con menores raicillas secundarias (ODEPA, 2009). Un 60% de la superficie usa riego tecnificado (pivote central o *side roll*), instalado mediante créditos otorgados por el único procesador de remolacha del país y bonificaciones públicas. A su vez, se está desarrollando un programa de transferencia tecnológica más intensivo para los agricultores que obtienen rendimientos menores, para disminuir la brecha de productividad.

Colombia no presenta antecedentes relevantes en la producción de variedades tradicionales de remolacha, pero ha sido seleccionada como zona piloto para el desarrollo de variedades especiales para la zona tropical de América, por su empresa desarrolladora, la multinacional Syngenta. Desde 2004 se vienen desarrollando siembras de prueba en Boyacá, Cundinamarca y la costa atlántica colombiana. Esta iniciativa ha derivado en un proyecto privado de producción de etanol a partir de remolacha, que probablemente sería el único existente en Sudamérica hasta el momento. Además de la siembra intensiva de remolacha, el proyecto prevé el montaje de dos plantas en las zonas de Boyacá y Cundinamarca, para el procesamiento del producto, su conversión en azúcar, y su conversión posterior en alcohol. De acuerdo a las etapas previstas inicialmente por dicho proyecto, la planta de Boyacá (con capacidad de 300.000 litros diarios) debería estar en funcionamiento en el primer semestre de 2009, mientras que la de Cundinamarca entraría en operaciones en 2010. Se estima que a partir de este proyecto se cultivarían unas 10.000 hectáreas de remolacha en la Sabana de Bogotá y el Altiplano Cundiboyacense. Por su parte, desde el sector público, CORPOICA desarrolla acciones de evaluación de materiales genéticos de remolacha azucarera y de condiciones de manejo integrado de cultivo en el distrito de riego del Alto Chicamocha y del río Ranchería.

En Argentina existen algunos antecedentes de cultivo de remolacha azucarera. Actualmente se está estudiando su potencial desde el INTA. En la provincia de San Juan inició una red de ensayos en cuatro departamentos, con diversas variedades de origen europeo y chileno, a los efectos de evaluar los rendimientos en materia prima, porcentaje de sacarosa y producción de biocombustibles, y determinar la calidad del bioetanol obtenido y la factibilidad técnica y económica de producirlo en dicha región a partir de dicho cultivo. El INTA también está realizando ensayos en el Valle Inferior del Río Negro y en el Valle

Bonaerense del Río Colorado, obteniéndose rendimientos satisfactorios, superiores a 80 tn/ha en la mayoría de las variedades utilizadas, alcanzándose incluso 116 tn/ha en una de ellas.

En Uruguay, la remolacha azucarera no se produce desde el año azucarero 1990/91, aunque en principio puede ser cultivada en toda la superficie agrícola del país. Desde el año 2005 técnicos particulares vienen evaluando materiales europeos y chilenos de remolacha alcoholígena en el Departamento de Canelones. Dichos ensayos han reflejado resultados promisorios y se estarían trasladando al litoral y al norte también (IICA-Uruguay).

La utilización de remolacha azucarera para la producción de etanol presenta, entre otras, las siguientes ventajas y oportunidades:

- El rendimiento agrícola actual da lugar a un alto rendimiento en litros de etanol por hectárea, superior al del maíz y otros cereales, mientras que los rendimientos agrícolas potenciales (o los obtenidos actualmente en el caso de Chile) generarían un rendimiento en biocombustible por hectárea potencialmente superior al de la caña de azúcar. En este sentido, el etanol de remolacha azucarera es altamente eficiente en la utilización del recurso tierra.
- Desde el punto de vista agrícola, presenta ventajas relacionadas con su capacidad de adaptarse una amplia variedad de suelos, como los salinos o alcalinos, y con su bajo requerimiento de agua (alrededor de 1/3 del de la caña de azúcar). Estas características harían viable, bajo determinadas condiciones, su cultivo en tierras menos productivas.
- Las variedades tropicales, además de posibilitar la introducción de un nuevo cultivo en países como Colombia o Venezuela, y de contar con altos rendimientos potenciales, brindan la posibilidad de obtener dos cosechas por año. En la mayoría de los países tropicales puede ser sembrada para las épocas en las que no hay materia prima para las plantas de caña, mejorando así el uso de los activos y aumentando su capacidad productiva tanto de azúcar como de etanol (Syngenta).
- La remolacha representa también oportunidades en términos de desarrollo de economías regionales en diversos países sudamericanos, diversificación productiva, generación de empleo y menor competencia por el uso de la tierra para alimentos.
- El proceso de producción de etanol a partir de la remolacha, genera co-productos con alto potencial de colocación en el mercado, especialmente en el caso de la pulpa de remolacha, que tiene un importante valor para nutrición de ganado y mascotas. Dado su alto contenido de carbohidratos, la pulpa también podría convertirse en materia prima adicional para fabricar bioetanol si se dispusiera de un proceso enzimático eficaz capaz de extraer los azúcares complejos y degradarlos en azúcares simples a utilizar para transformar en bioetanol, alternativa que está comenzando a ser investigada en el mundo²⁹.
- Al igual que en el caso de la caña de azúcar, por tratarse de cultivos sacáridos, la ruta tecnológica para la producción de etanol es menos compleja que en el caso de los cultivos amiláceos.

Por su parte, entre las limitantes o desventajas que presenta la remolacha azucarera como materia prima para la producción de etanol, pueden mencionarse las siguientes:

²⁹ Para mayor información sobre el proyecto de investigación en producción de bioetanol a partir de la pulpa:
http://www.dyadic.com/wt/dyad/pr_1168958752

- Al igual que en el caso de otras materias primas alternativas, y en comparación con las de disponibilidad inmediata, en los países de la región se presentan limitantes a superar para el desarrollo de la remolacha, relacionadas con la menor experiencia, difusión y conocimiento sobre el cultivo y su manejo (teniendo en cuenta que requiere un manejo muy cuidadoso del cultivo y la post-cosecha para lograr rendimientos razonables), sus enfermedades y plagas, restricciones tecnológicas a superar tanto a nivel agrícola como industrial (por ejemplo, el diseño y/o adecuación tecnológica de destilerías para el procesamiento a partir de la remolacha), bajo o nulo desarrollo de la cadena y/o el mercado, etc.
- El etanol de remolacha ha registrado mayores costos de producción que el etanol de caña de azúcar³⁰, principalmente debido a los mayores costos de producción de la materia prima (cabe aclarar que estos registros corresponden a comparaciones entre etanol de remolacha en la UE y etanol de caña brasileño).
- Desde el punto de vista de la eficiencia energética, el bioetanol de remolacha presenta un balance energético significativamente inferior al del obtenido con caña de azúcar (aunque superior al del maíz). Desde el punto de vista de la eficiencia ambiental, el bioetanol de remolacha permitiría un alto ahorro de emisión de GEI (inferior al obtenido con el bioetanol de caña de azúcar y superior al de bioetanol de maíz).
- Otras limitantes de la remolacha azucarera tienen que ver con su tamaño, que hace relativamente caro su transporte, y con su alta perecibilidad, que da lugar a una menor vida potencial de almacenamiento y a la necesidad de procesarla rápidamente, antes que la sucrosa se deteriore. Las plantas deben estar por lo tanto ubicadas en la zona de producción de la materia prima. La vida potencial de almacenamiento y, consecuentemente la temporada de procesamiento, pueden alargarse a través de la extracción y almacenamiento del azúcar en forma de melazas (The Mother Earth News, 1980).
- Se trata de un cultivo muy extractivo, que sin prácticas de conservación adecuadas, lleva a la degradación del suelo en el mediano y largo plazo. Por ejemplo, en Uruguay, la experiencia del cultivo dejó muchos cuestionamientos respecto a los efectos en la erosión y degradación de los suelos utilizados (IICA-Uruguay). A su vez, la repetición del cultivo de remolacha sobre el mismo suelo, o la rotación con otros cultivos en breve intervalo de tiempo, origina frecuentemente graves problemas de plagas que y enfermedades que afectan el rendimiento (López Bellido, 2003). Estos aspectos requieren que la remolacha deba ser alternada secuencialmente con otros cultivos, para volver al mismo terreno cada 3 a 8 años (con un cultivo de remolacha cada cuatro años como regla general).

³⁰ En comparación con el etanol de maíz, según se desprende de información de FAO y OCDE (FAO, 2008c), el de remolacha producido en la UE registraba mayores costos de producción en 2004 y menores costos en 2007 (producto del alto crecimiento del precio del maíz en el mercado mundial).

Sorgo dulce / sorgo sacarino / sweet sorghum
Cultivo
Sorgo dulce (Sorghum bicolor Moench)

El sorgo dulce es una especie perteneciente al género sorgo, familia de las gramíneas. Es una planta anual originaria de África y extendida a todos los continentes. Crece en zonas templado-cálidas y zonas húmedas subtropicales. Su temperatura óptima se ubica entre 25-31°C y su crecimiento es escaso por debajo de 16 °C. Se destaca por su gran resistencia a la sequía y a las altas temperaturas y vientos fuertes. El sorgo dulce puede producirse en una amplia variedad de tipos de suelos, pero los rendimientos son típicamente mayores en suelos profundos, bien drenados y con buena fertilidad. Su crecimiento en suelos poco profundos o muy bajos en materia orgánica puede ser más susceptible al estrés por sequía. Tolerancia a la salinidad y diferentes niveles de acidez en el suelo. Si bien es más tolerante a la sequía que muchos otros cultivos, la humedad abundante durante el período de crecimiento es importante para obtener buenos rendimientos en tallo y jugo. A diferencia del sorgo granífero, cuyo mayor contenido de material fermentable se encuentra en el almidón del grano, el sorgo dulce se caracteriza por su alto contenido de azúcares fermentables en el tallo. De acuerdo a las diferentes posiciones del azúcar contenido en los tallos, el sorgo dulce puede dividirse entre los de tipo "sacarino", que contienen principalmente sacarosa, y los de tipo "jarabe", que contienen principalmente glucosa. Con el sorgo dulce puede producirse jarabe (su principal uso histórico), melazas, cristales de azúcar, forraje y silaje para alimentación animal, y etanol (Universidad Pública de Navarra, Vermerris (2007), Duke (1983), PROTA Database, Dajue (1997)).

Características
Requerimiento de agua

450 - 650 mm

Contenido de biomasa fermentable (% de azúcares en el jugo extraído de los tallos)

16%-23% Brix

Subproductos / co-productos de su utilización para biocombustible

El bagazo (tallos triturados) del sorgo dulce es el residuo obtenido después de la remoción de los jugos y puede ser utilizado para la generación de electricidad o vapor como parte de un esquema de cogeneración o puede compactarse en bloques nutritivos para la alimentación de ganado. El grano del sorgo dulce puede ser cosechado, curado y utilizado para alimentación de ganado y aviar.

Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)

70

Rendimiento agrícola (tn/ha)

Los rendimientos del sorgo dulce varían considerablemente dependiendo de las variedades/híbridos utilizadas, ubicación (suelo, agua, clima, plagas y enfermedades), insumos y prácticas de producción (Vermerris, 2007). En general puede producir entre 45 a 75 tn/ha de tallo (Dajue, 1997).

Rendimiento etanol x ha (lts/ha)

3.742-5.612

El sorgo dulce (*Sorghum bicolor Moench*) es considerada como una de las materias primas alternativas más prometedoras para la producción de etanol. En la actualidad presenta una producción poco significativa a nivel mundial, y las principales experiencias se registran en EE.UU. (en donde se lo ha cultivado tradicionalmente para la producción de jarabes y para alimentación animal), India, algunos países africanos y China.

A diferencia del sorgo granífero, cuyo mayor contenido de material fermentable se encuentra en el almidón del grano, el sorgo dulce se caracteriza por su alto contenido de azúcares fermentables en el tallo. De este modo, el etanol de sorgo dulce se obtiene a partir de la trituración de los tallos y de la posterior destilación de los jugos dulces obtenidos. También se han desarrollado híbridos que son cruces entre sorgos graníferos y sorgos dulces que combinan las características de ambas especies. Existe investigación que está apuntando a desarrollar variedades e híbridos de sorgo dulce con alto rendimiento en grano de alta calidad que retenga las características de los tallos jugosos ricos en azúcar (NARI).

Las experiencias con el cultivo de sorgo dulce en Sudamérica son aún muy limitadas, aunque por las ventajas y oportunidades que se detallan más abajo, ha despertado alto interés en varios países de la región, razón por la cual se lo está investigando.

En Brasil, EMBRAPA ya posee cuatro variedades brasileñas de sorgo dulce con avanzado dominio tecnológico. En Uruguay, desde 2005, técnicos del INIA y la Facultad de Agronomía están llevando adelante distintos ensayos experimentales en diferentes departamentos del país y evaluando el comportamiento de materiales genéticos diversos de sorgo dulce. También se han realizado algunas experiencias muy recientes por parte de emprendimientos privados referentes a cultivos de nuevas variedades de sorgo dulce (IICA-Uruguay). Se han obtenido rendimientos de entre 57 y 82 tn/ha. En Argentina, el sorgo dulce está considerado como un cultivo de alto potencial en zonas del norte del país, dada su resistencia a sequías y a elevadas temperaturas. En Bolivia, según se desprende de un reciente estudio³¹, todos los departamentos tendrían aptitud para su cultivo.

Entre los países de la región andina se destacan las acciones de investigación desarrolladas en Colombia. CORPOICA, bajo el marco de la Convocatoria Nacional para la cofinanciación de proyectos de investigación (2007), lleva a cabo los proyectos “Manejo integrado del cultivo de sorgos dulces para la producción de alcohol carburante en las condiciones medioambientales del Caribe, Valles Interandinos y Piedemonte Llanero” y “Obtención de sorgos dulces para la producción competitiva y sostenible de alcohol carburante en Colombia”, cuyos objetivos apuntan a obtener e implementar clases de híbridos del sorgo dulce para la producción etanol en el territorio nacional con altos estándares de eficiencia, sostenibilidad y competitividad. Para ello, ha introducido 20 líneas avanzadas de sorgo para sus ensayos de rendimiento, junto a pruebas de eficiencia y de evaluación de las líneas de sorgo dulce en Cereté, Tolima y Villavicencio, así como en el Piedemonte Llanero, Valles Interandinos y el Caribe. Las líneas introducidas llevaban varios ciclos de selección en el marco de un convenio entre CORPOICA y el Instituto Internacional de Investigación Agraria para Zonas Semiáridas (ICRISAT), donde luego de seleccionar los mejores materiales de sorgo dulce, estos se implementarán en el manejo integrado del cultivo para la producción de biocombustibles por parte de los agricultores de dichas regiones (IICA-Colombia). En Perú, podría producirse etanol a partir de sorgo dulce, dadas las condiciones edafoclimáticas favorables, tanto en la costa norte como en la selva alta del país (IICA-Perú).

Las principales ventajas y atractivos del sorgo dulce como materia prima para la producción de etanol son las siguientes:

- Agronómicamente se destaca por su alta tolerancia a un amplio rango de condiciones climáticas y de suelo (altas temperaturas, sequía, inundaciones, salinidad del suelo y toxicidad por acidez), lo cual le permitiría ser cultivado en tierras menos productivas para otros cultivos como la caña de azúcar o el maíz (suelos salino-alcálinos y de baja fertilidad).
- El sorgo dulce posee varias características favorables que lo asemejan a la caña de azúcar: los contenidos de azúcar se localizan en el tallo y son directamente fermentables, lo cual le otorga una ventaja por sobre los cultivos amiláceos; los tenores de azúcares reductores totales en los tallos no son significativamente diferentes de los encontrados en la caña de azúcar cortados anticipadamente; de su producción para etanol también se obtiene una cantidad suficiente de bagazo para la generación de vapor para la actividad industrial (Teixeira et al, 1997); al tiempo que también cuenta con algunas ventajas por sobre este cultivo: menores requerimientos hídricos, ciclo productivo corto

³¹ CAINCO-IBCE. *Vocaciones Productivas Departamentales para la Producción de Biocombustibles y Seguridad Alimentaria*, 2008.

(de 120 a 130 días) que permitiría más de una cosecha al año, y producción conjunta con granos de sorgo y silaje a partir del residuo de la planta, que pueden ser utilizados para alimentación animal.

- Posee un rendimiento relativamente alto de etanol por hectárea, superior al obtenido a través de los cereales y de algunos cultivos alternativos como la mandioca.
- En línea con lo anterior, la producción de etanol con sorgo dulce posee alto potencial de generación de co-productos de alto valor: a) bagazo: Además de ser utilizable para proveer energía para las destilerías, el mismo podrá utilizarse para producir etanol celulósico cuando sea viable a escala comercial, mientras que de acuerdo al International Livestock Research Institute (ILRI), el valor del bagazo podría duplicarse si es compactado en nutritivos bloques para la alimentación de ganado (ICRISAT); b) granos de sorgo: el sorgo dulce es el único cultivo que puede producir conjuntamente tallos utilizables para producir etanol y granos para alimentación humana y/o animal que no están implicados en el proceso de producción del biocombustible. Esto último convierte al sorgo dulce en una muy buena opción para sistemas integrados de explotación rural que apunten conjuntamente a la autosuficiencia en biocombustibles y a la producción agropecuaria (Teixeira et al, 2007).
- Presenta la posibilidad de ser producido en el período de entre-zafra de la caña de azúcar, complementándose con este cultivo, reduciendo el período de ociosidad de la industria sucroalcoholera y también permitiendo que los tallos de la caña de azúcar alcancen una maduración completa, lo cual representa mayores tenores de azúcares (Teixeira et al, 2007).
- Desde el punto de vista ambiental, comparado con muchos otros cultivos, el sorgo dulce tiene alto nivel de eficiencia en el uso de agua y de nutrientes (Vermerris, 2007) y un balance energético³² superior al de los cereales, la remolacha y la mandioca y potencialmente similar al de la caña de azúcar (Da Silva et al, 1978).
- Por tratarse de un producto de muy baja demanda en los mercados regional y mundial de alimentos, su utilización para la producción de etanol no tendría impacto significativo en los precios de los alimentos y en la seguridad alimentaria.

En cuanto a las limitantes de la utilización de sorgo dulce para la producción de etanol, pueden mencionarse las siguientes:

- La principal limitante del sorgo dulce radica en su reducida resistencia a la degradación una vez cosechado, por lo cual no puede ser almacenado durante mucho tiempo. A ello se suma el hecho de que el jugo del sorgo dulce tampoco puede ser almacenado con facilidad, dando lugar así a un serio problema de estacionalidad. En este sentido, las instalaciones para procesamiento deberían ser lo suficientemente grandes como para manejar la cosecha entera en apenas unas semanas, la fermentación debería efectuarse inmediatamente, y las plantas sólo estarían operativas durante unos pocos meses al año, dificultando su factibilidad económica (Duke, 1983; Vermerris, 2007; OSU, 2006). El problema de la estacionalidad podría resolverse mediante el desarrollo de sistemas integrados tales como: a) integración del cultivo de sorgo dulce con el de caña de azúcar o con el de maíz, dependiendo de la región; b) procesamiento y conversión integrada de los tallos dulces y los granos del sorgo o de otros cultivos; c) producción de etanol utilizando tanto los carbohidratos simples del sorgo como su lignocelulosa (cuando esto último sea comercialmente factible) (Duke, 1983). En EE.UU. varios grupos de investigación han diseñado prototipos de cosechadoras que extraen el jugo

³² Aproximadamente un ratio de energía fósil igual a 4 (Woods, 2000, por simulación).

y dejan el bagazo en el campo, pero aún es incierto si esta tecnología se tornará comercialmente viable (Vermerris, 2007). También se está investigando la factibilidad de que la fermentación pueda llevarse a cabo en grandes *containers* en el campo (OSU, 2006).

- En línea con lo anterior, los costos de transporte y la proximidad con las plantas de procesamiento y/o de producción de etanol juegan un rol determinante para determinar la rentabilidad de la producción de sorgo dulce (Vermerris, 2007).
- Otras limitantes tienen que ver con la limitada base de germoplasma y de variedades para las cuales la semilla está comercialmente disponible. En un contexto de amplia y rápida adopción de esta materia prima, las semillas serían difíciles de obtener (Vermerris, 2007). También es baja su resistencia a plagas y enfermedades (FAO-CEPAL-CGE-BNDES, 2008).
- El hecho de que temperaturas por debajo de los 16°C afecten su crecimiento, limita sus posibilidades para determinadas regiones y zonas de los países de la Región Sur.

9.2.2.3 Materias primas lignocelulósicas

La utilización de materias primas y cultivos con alto contenido de celulosa (lignocelulósicos) constituye una de las variantes más promisorias para la producción de biocombustibles.

Los carbohidratos de las materias primas lignocelulósicas se encuentran en formas más complejas que en los cultivos con alto contenido de sacarosa y amiláceos. Los materiales lignocelulósicos están compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina (Tabla 9.2.2.17). De ellos, los dos primeros son una fuente potencial de azúcares fermentables.

Existe una amplia variedad de materias primas lignocelulósicas, las cuales pueden ser agrupadas en las siguientes categorías:

- Residuos y desechos agrícolas y agroindustriales.
- Residuos forestales primarios e industriales.
- Cultivos energéticos dedicados, tales como hierbas perennes y árboles de rotación corta o crecimiento rápido.
- Partes orgánicas de desperdicios urbanos.

Tabla 9.2.2.17: Composición de algunas materias primas lignocelulósicas

	% Celulosa	Hemicelulosa %	% Lignina
Hojas y tallos de maíz	30-38	19-25	17-21
Bagaso de Caña	32-43	19-25	23-28
Madera dura	45	30	20
Madera blanda	42	21	26
Álamo Híbrido	39-46	17-23	21-28
Bambú	41-49	24-28	24-26
Switchgrass	31-34	24-29	17-22
Miscanthus	44	24	17
Giant Reed (Arundo Donax)	31	30	21

Fuente: Oak Ridge National Laboratory, Bioenergy Feedstock Development Program. (compilado por J. Scurlock en 2002, actualizado por L. Wright en 2008).

La conversión de biomasa lignocelulósica en biocombustibles presenta dos grandes rutas tecnológicas: la bioquímica y la termoquímica. La primera da lugar a la obtención de etanol celulósico, basándose en la utilización de enzimas y microorganismos; la segunda se basa en procesos como la gasificación y la pirólisis rápida para obtener biocombustibles sintéticos y bio-oil, respectivamente.

Por las razones tecnológicas expuestas más adelante, la producción a escala comercial de etanol basado en materias primas lignocelulósicas es casi nula en el mundo (0,1% de la producción total de bioetanol en 2007 según IEA/OCDE), aunque se registran significativos esfuerzos de I+D+i, especialmente en EE.UU. y la Unión Europea, en donde se están invirtiendo significativos presupuestos para su desarrollo. En cuanto a la disponibilidad de estas materias primas, puede distinguirse entre aquellas con oferta potencialmente significativa en el corto plazo (residuos agrícolas, biomasa forestal y desperdicios urbanos), que podrían desempeñar un rol temprano en el desarrollo de la industria del etanol celulósico, y aquellas potencialmente disponibles en el largo plazo (cultivos energéticos dedicados).

➔ **Residuos y desechos agrícolas primarios y agroindustriales**

Los residuos y desechos agrícolas primarios están constituidos por la biomasa que permanece en el suelo luego de las cosechas, siendo actualmente la materia prima lignocelulósica disponible en mayor cantidad.

Entre los residuos y desechos agrícolas más relevantes en la región se encuentran la paja de trigo, de arroz y de otros cereales, hojas, tallos y/o mazorcas de maíz, hojas de caña de azúcar, tallos de algodón y residuos de la producción de palma aceitera (racimos de frutos vacíos, cáscaras y fibra). Entre los residuos y desechos secundarios o agroindustriales se destaca principalmente el bagazo de la caña de azúcar.

Los países de la región con mayor disponibilidad de residuos y desechos agrícolas primarios, considerando la producción de cereales y de caña de azúcar, son Brasil, Argentina y Colombia. Estos países también lideran la producción de bagazo de caña de azúcar, destacándose Brasil, que concentra alrededor del 90% de la producción sudamericana.

Las principales ventajas que presentan estas materias primas están dadas por su muy elevada disponibilidad inmediata. Probablemente los residuos agrícolas figuren entre las materias primas más baratas para la producción de biocombustibles líquidos (FAO, 2008f). A su vez, los mismos podrían representar una fuente adicional de ingresos para los agricultores. El bagazo de caña y las hojas, tallos y/o mazorcas del maíz se destacan particularmente por ser fácilmente integrables a la industria actual del etanol. Los balances



energéticos y de ahorro de emisiones de GEI del etanol de residuos agrícolas son positivos y muy superiores al del etanol de cereales, de acuerdo a análisis del ciclo de vida, pero el aumento de emisiones de algunos gases, como el óxido de nitrógeno, permanece como una preocupación (BR&Di, 2008a). Desde el punto de vista ambiental, la utilización de residuos agrícolas para la producción de etanol celulósico también representa una oportunidad para evitar la quema de rastrojos de cultivos que aún persiste en determinadas zonas de los países de la región y constituye una importante fuente de emisiones de GEI por parte de la agricultura.

La principal restricción de los residuos agrícolas primarios está relacionada con cuestiones de sustentabilidad y conservación. Los residuos agrícolas juegan un rol muy importante el reciclado de nutrientes en el suelo y en el mantenimiento de la fertilidad y productividad de los mismos en el largo plazo. En este sentido, una remoción significativa de los mismos agravaría la erosión del suelo y agotaría el suelo de nutrientes esenciales y materia orgánica (BR&Di, 2008a) o impactaría sobre la disponibilidad de fertilizantes y micronutrientes naturales que deberían ser sustituidos por los de origen químico (CEPAL, 2007). De acuerdo a investigaciones desarrolladas en EE.UU., bajo determinadas condiciones y dentro de ciertos límites, la remoción de residuos del suelo puede ser sustentable. La cantidad a remover sin aumentar la erosión del suelo y sin reducir la fertilidad variará según las prácticas de labranza, el tipo de suelo y región (BR&Di, 2008a). Algunas estimaciones plantean que tan sólo se podría utilizar aproximadamente el 15% de la producción de total residuos para la generación de energía tras satisfacer las exigencias relacionadas con la conservación del suelo, la producción de piensos para el ganado y otros factores como las variaciones estacionales (Bowyer y Stockmann, 2001, citados por FAO).

Las restricciones tecnológicas vigentes para su recolección y manipulación también representan límites en cuanto a la cantidad potencialmente disponible de residuos agrícolas primarios. En casos de explotaciones agrícolas de tipo extensivo, la recolección de los residuos se encarecería demasiado, quitándole valor económico a los mismos (Patrouilleau et al, 2007). A estas restricciones se agrega la necesidad de construir la infraestructura y la logística requerida para transportar grandes cantidades de residuos agrícolas hacia las eventuales plantas de etanol celulósico y otras bioenergías. En el caso de los residuos o desechos agroindustriales como el bagazo de caña, estas dificultades no se presentarían por encontrarse ya concentrados en las plantas de procesamiento.

► **Residuos forestales primarios e industriales**

Los residuos forestales primarios están constituidos por los productos derivados de actividades forestales (podas, cosecha, extracción o tala forestal) o del manejo sustentable de bosques nativos, e incluyen residuos leñosos tales como cortezas, ramas, hojas, podas de ramas, restos de descopados, árboles muertos, tallos dañados o desechados, etc. Gran cantidad de estos residuos son usualmente separados y dejados en la superficie durante las actividades de tala y poda. A los mismos se agregan residuos leñosos procedentes del proceso de industrialización de la madera, tales como residuos madereros (cortezas, trozos, tablas), astillas, virutas, aserrín, etc.

Los residuos forestales representan otra fuente significativa de materia prima para la producción de biocombustibles líquidos de segunda generación. La región cuenta con una amplia cubierta forestal³³, destacándose Brasil, Perú, Colombia y Bolivia, por su superficie de bosques naturales y Brasil, Chile, Argentina y Uruguay por su superficie de bosques plantados (Tabla 9.2.2.18). De acuerdo a CEPAL (2007), la

³³De acuerdo a la estadística de FAO, la cubierta forestal está constituida por las superficies del bosque natural más el bosque plantado. Por bosque natural se entiende al bosque primario más bosque natural modificado y seminatural. Bosque plantado es la suma de bosques plantados con fines productivos y bosques plantados con fines de protección.

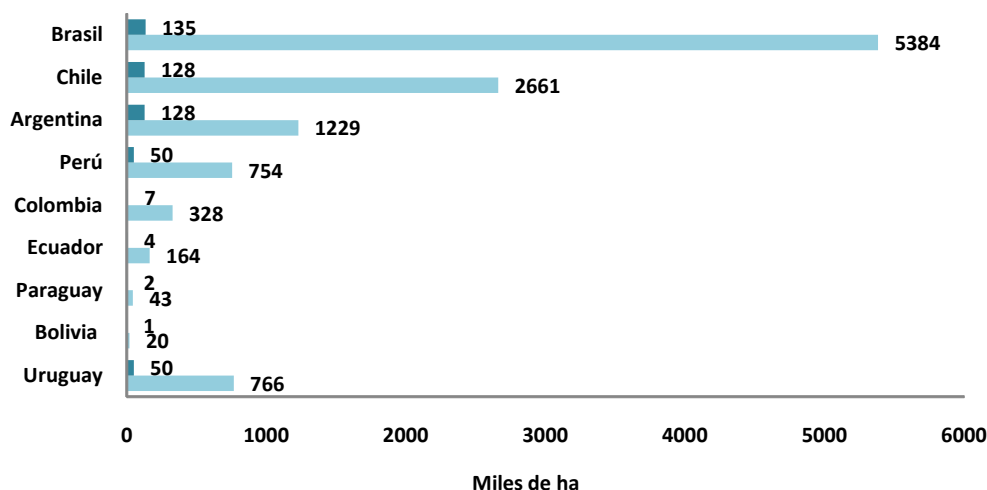
biomasa total hallada sobre el suelo es de aproximadamente 420.000 millones de toneladas en el mundo, de las cuales el 40% se encuentran en Sudamérica y el 27% sólo en Brasil.

Tabla 9.2.2.18: Cubierta forestal en América del Sur

Cubierta Forestal 2000					
País	Superficie terrestre (miles de ha)	Superficie de bosques naturales (miles de ha)	Porcentaje bosque natural de la superficie terrestre (%)	Plantaciones (miles de ha)	Superficie de bosques naturales/per cápita (ha)
Argentina	278.040	31.792	11,4	1.229	0,8
Bolivia	109.858	58.720	53,5	20	6,5
Brasil	851.488	472.314	55,5	5.384	2,6
Chile	75.663	13.460	17,8	2.661	0,8
Colombia	113.891	60.399	53,0	328	1,3
Ecuador	28.356	10.689	37,7	164	0,8
Paraguay	40.675	18.432	45,3	43	3,2
Perú	128.522	67.988	52,9	754	2,5
Uruguay	17.622	740	4,2	766	0,2
Venezuela	91.205	0	0,0	-	0,0
América del Sur	1.783.770	772.468	43,3	11.357	2,1

Fuente: FAO en base a FRA 2005

Gráfico 9.2.2.19: Superficie total de bosques plantados y tasa anual de plantación en América del Sur



Fuente: FAO en base a FRA 2005 y Estudios Nacionales

Los residuos forestales presentan ventajas similares a las de los agrícolas, en términos de alta disponibilidad inmediata y elevados balances energéticos y de ahorro de emisiones de GEI. Desde el punto de vista ambiental, además, la utilización de residuos forestales para la producción de etanol celulósico también representa una oportunidad para prevenir amenazas a la salud de los bosques relacionadas con incendios, pestes y especies invasivas, factores cuya ocurrencia puede ser ocasionada por la acumulación excesiva de biomasa leñosa (BR&Di, 2008b).

Más allá de su alto potencial en términos de disponibilidad, los residuos forestales primarios presentan restricciones importantes relacionadas con la tecnología y costos de recolección y manejo, como así también con la accesibilidad a las zonas forestales, cuyas distancias de los centros de consumo pueden ser grandes y dar lugar a altos costos de transporte. En el caso de los residuos foresto-industriales, las restricciones relacionadas con la recolección no se presentarían por encontrarse ya concentrados en las plantas de procesamiento. Desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental, al igual que en el caso de los residuos agrícolas primarios, la remoción significativa de residuos forestales daría lugar a la erosión del suelo y agotamiento de nutrientes y materia orgánica. También debe tenerse en cuenta, en el caso de los residuos foresto-industriales, la posibilidad de competencia por la materia prima con otras actividades industriales dependientes de los mismos (por ejemplo, los residuos del aserrado de la madera se utilizan en la producción de pasta celulósica y tableros de partícula o fibra) (Patrouilleau et al, 2007).

► **Cultivos energéticos dedicados**

Entre las materias primas lignocelulósicas potencialmente disponibles en el largo plazo, se destacan las hierbas perennes tales como el switchgrass (*Panicum virgatum*), el miscanthus (*Miscanthus giganteus*), el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), el reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) y el cardo cynara, entre otras, y los árboles de ciclo corto o crecimiento rápido (eucalipto, álamo, pino, etc.), los cuales pueden ser específicamente dedicados a la producción de biocombustibles.

Las hierbas perennes son usualmente plantadas para la producción de forraje, pero algunas variedades con alto potencial de rendimiento de biomasa por hectárea podrían ser utilizadas para la producción de etanol celulósico. En muchos de estos casos, se trata de cultivos nuevos que prácticamente no cuentan con experiencia de mercado.

Entre las hierbas más investigadas en los países con mayor avance en I+D+i de etanol celulósico se destacan el switchgrass (*Panicum virgatum*) y el miscanthus (*Miscanthus giganteus*). El switchgrass es un pasto perenne nativo de América del Norte, al cual se le asignan varias ventajas de peso. Entre ellas su alto rendimiento de materia seca (10 a 25 tn/ha, según diversos autores), su tolerancia a sequía y su amplio rango de adaptación a condiciones de baja fertilidad, lo cual lo hace apropiado para tierras marginales, tierras con baja humedad y tierras con menores costos de oportunidad, tales como las pasturas (BR&DI, 2008a). Por su parte, el miscanthus es un pasto alto, nativo de algunas partes de Asia, Polinesia y África, que se destaca por sus altos rendimientos de materia seca por hectárea (12 a 37 tn/ha de acuerdo a estudios en áreas no irrigadas, citados por IFAS – Universidad de Florida) y por su adaptabilidad a un amplio rango de condiciones de suelo y medioambientales, incluyendo una muy alta tolerancia al frío. Las hierbas perennes presentan algunos beneficios desde el punto de vista medioambiental, relacionados con la menor erosión, secuestro de carbono en los suelos y el reciclado de nutrientes por sus sistemas de rizomas (BR&DI, 2008b). A su vez, los requerimientos de fertilización y de pesticidas de estos cultivos suelen ser bajos.

En términos generales, las hierbas perennes presentan alta potencialidad en términos rendimientos de biocombustible por hectárea, y de balances energéticos y de ahorro de emisiones, que podrían superar significativamente a los de las materias primas de primera generación. Entre sus limitantes y eventuales riesgos, se plantea el hecho de que varias de estas especies son consideradas invasivas o con posibilidades de serlo y podrían tener efectos negativos para los recursos hídricos, la biodiversidad y la agricultura (FAO 2008c). Esto último se daría en el caso de utilización de tierras previamente destinadas a la producción de alimentos. Otras limitantes a superar tienen que ver con la aversión al riesgo de los productores para producir nuevos cultivos, debido a la falta de información, habilidades y *know-how*, con la necesidad de contar con mayor investigación y conocimiento sobre sus rendimientos y manejo, y con aspectos ambientales como la

imposibilidad que presentan las hierbas perennes para desarrollar rotación de cultivos³⁴, lo cual es clave para el control de plagas y enfermedades (BR&DI, 2008a).

Los árboles de crecimiento rápido constituyen otra importante categoría de cultivos energéticos dedicados con potencial de utilización en el futuro. Se trata de árboles desarrollados en plantaciones de alta densidad y espaciamiento relativamente cercano (hasta 33.000 árboles por hectárea) y cosechados bajo períodos de rotación más cortos que los bosques convencionales (Dickman, 2006, citado por BR&DI, 2008b). Entre las especies más investigadas en países avanzados en I+D+i de materias primas lignocelulósicas, se encuentran el álamo híbrido y el sauce, debido a sus muy elevados rendimientos potenciales de biomasa por hectárea (12 a 17 tn/ha y 27 a 30 tn/ha, respectivamente³⁵). Otras especies de rotación corta relevantes son el eucalipto, el bambú, el sicomoro y el pino.

Los árboles de crecimiento rápido ofrecen beneficios medioambientales múltiples: brindan la posibilidad de almacenar carbono, reducir la erosión del suelo y de promover un ciclo estable de nutrientes y de materia orgánica en el suelo, al tiempo que, en contraste con la agricultura, proveen hábitat a un amplio rango de pájaros y pueden aumentar la diversidad del paisaje (BR&DI, 2008b).

Al igual que las demás categorías de materias primas lignocelulósicas, los árboles de crecimiento rápido enfrentan aún una serie de limitaciones significativas, muchas de ellas relacionadas con su manejo: altos costos de establecimiento debido a los muchos cortes y plántulas requeridas por hectárea, bajo ratio maderacorteza, y falta de cosecha mecánica eficiente de plantaciones densas (Dickman, 2006, citado por BR&DI, 2008b). Desde el punto de vista económico, con el estado actual de precios de mercado, rendimientos y tecnologías de cosecha, los árboles de crecimiento rápido aún no son competitivos para ser utilizados para bioenergía, y enfrentan competencia en precios por parte de las industrias de la pulpa, el papel, la madera y los combustibles fósiles de menores costos (carbón y gas natural) (BR&DI, 2008b).

De acuerdo al Biomass Research and Development Initiative de EE.UU., por tratarse de materias primas esencialmente escasa o nulamente mejoradas, tanto las hierbas perennes como los árboles de crecimiento rápido presentan potencial para obtener grandes saltos en términos de aumento de los rendimientos y desarrollo de otras características deseables (crecimiento óptimo en microclimas específicos, mejor resistencia a pestes, uso eficiente de nutrientes y mayor tolerancia a déficit de humedad y otras fuentes de estrés). Para ello será fundamental un conocimiento más completo de sus sistemas biológicos y la aplicación de los últimos avances biotecnológicos.

En términos generales, los biocombustibles elaborados con materias primas lignocelulósicas cuentan con significativas ventajas y oportunidades:

- Las biomasa celulósica constituye el material biológico más abundante en la tierra (FAO, 2008c), con lo cual los biocombustibles de segunda generación representan una contribución potencial a la matriz energética sustancialmente superior a la de los biocombustibles de primera generación. Según el Consejo Mundial de Energía, hacia 2050 estos biocombustibles podrían reemplazar aproximadamente el 40% de los combustibles fósiles usados en transporte (Biopact, 2008).

³⁴ Con respecto a esto último, de acuerdo al BRD&I (2008a), desde la perspectiva de la sustentabilidad de largo plazo (ambiental y económica), la ecología de los cultivos herbáceos perennes requiere de la multiplicidad de cultivos o incluso de una mezcla de especies dentro de la misma área. Una mezcla de varios cultivos herbáceos en la misma región, contribuiría a reducir el riesgo de proliferación de pestes y enfermedades (consecuencia del monocultivo), como así también a optimizar la oferta de biomasa a las plantas de etanol, ya que diferentes materiales herbáceos podrían cosecharse en diferentes momentos.

³⁵ CEPAL (2007).



- Dada su potencialidad para ser utilizadas íntegramente en el proceso de producción, las materias primas lignocelulósicas representan muy elevados rendimientos potenciales de biocombustible por hectárea.
- Presentan balances energéticos y de ahorro de emisiones de GEI potencialmente superiores a los obtenidos por los biocombustibles basados en materias primas de primera generación. Ello se debe a los mayores rendimientos potenciales de energía por hectárea, como así también a la posibilidad de utilizar para su elaboración energía proveniente de los desechos de las propias plantas (FAO, 2008c).
- Permitirían dejar atrás el dilema biocombustibles vs. alimentos, teniendo en cuenta que se trata de residuos agroindustriales o foresto-industriales y cultivos no alimentarios. En este último caso, algunas hierbas perennes y árboles de rotación corta, pueden crecer a veces en suelos pobres y degradados en los que la producción de cultivos alimentarios no es óptima. No obstante, a diferencia de los biocombustibles de primera generación, de los procesos de producción de etanol celulósico no surgen co-productos tales como alimentos para producción animal, lo cual también debería ser tenido en cuenta en una comparación (IEA/OCDE, 2008).

Pese a sus múltiples potencialidades y las significativas inversiones en plantas piloto y proyectos de demostración, los biocombustibles para transporte elaborados a partir de materias primas lignocelulósicas aún no registran producción a escala comercial en el mundo. Ello se explica por una serie de barreras significativas que aún persisten para su desarrollo:

- El principal desafío que enfrenta el etanol celulósico es de carácter tecnológico y tiene que ver con la conversión de la materia prima a biocombustible. La complejidad de la estructura de las materias primas lignocelulósicas hace que la conversión a carbohidratos fermentables sea difícil y costosa³⁶. Las rutas tecnológicas no han alcanzado aún su punto de madurez y aún no son económicamente viables para la producción a gran escala. Las proyecciones sobre el momento en que los biocombustibles de segunda generación estarán disponibles a escala comercial varían ampliamente, aunque comúnmente consideran poco probable que ello ocurra antes del año 2015.
- En el estado del arte actual, los costos de producción de son altos en comparación con los biocombustibles de primera generación y los combustibles fósiles. La mejora en la competitividad de los biocombustibles de segunda generación requerirá de reducciones en los costos de las materias primas, logística de transporte y procesos de conversión (IEA/OCDE, 2008).
- Los sistemas de recolección y manejo de las materias primas, como así también la infraestructura y los aspectos logísticos de los sistemas de transporte y abastecimiento también representan desafíos a superar. Los sistemas actuales aún se presentan inadecuados para el procesamiento y distribución de biomasa a la escala necesaria para la producción de grandes volúmenes y requieren de una onerosa expansión en infraestructura (IEA/OCDE, 2008).
- Desde el punto de vista de la sustentabilidad ambiental, más allá de los múltiples beneficios descritos más arriba, se presentan limitantes, desafíos y mayor investigación y conocimiento, como en los mencionados casos de la remoción de residuos agrícolas y forestales primarios o los potenciales efectos medioambientales de una expansión a gran escala de los cultivos energéticos (hierbas perennes y árboles de rotación corta).

³⁶ Los materiales lignocelulósicos están compuestos por celulosa (35-50%), hemicelulosa (15-25%) y lignina (20-25%). De ellos, los dos primeros son una fuente potencial de azúcares fermentables. Los principales desafíos que enfrenta el desarrollo tecnológico del etanol celulósico son la extracción y disolución de la celulosa y la hemicelulosa (su encapsulamiento en la lignina dificulta el proceso de extracción y la hidrólisis a azúcares) y el proceso de hidrólisis de la celulosa (Romano S. et al, 2005).

Hasta el momento, la inversión mundial en I+D+i en materias primas lignocelulósicas y en plantas piloto y de demostración se ha concentrado en EE.UU. y Europa. En los países de la región el nivel de investigación y conocimiento vinculado al tema es aún escaso, resultando imperioso avanzar en el estudio, investigación y evaluación (económica, ambiental y social) de las diferentes alternativas que representan las materias primas lignocelulósicas.

Para los países de la región, todas estas alternativas requieren de firmes y oportunas acciones de I+D, no solo por sus potencialidades, sino también por el hecho de que los grandes jugadores del mercado mundial ya están apuntando a ellas, con amplios programas y significativos presupuestos. En el caso particular de los biocombustibles de segunda generación, este dinamismo en el desarrollo de las capacidades en los potenciales competidores y mercados, podría coartar una transición equilibrada desde los biocombustibles de primera generación hacia los de segunda generación, especialmente en países de la región Sur con alto potencial para la exportación de biocombustibles (Ganduglia, 2008). En este sentido, resulta vital para la sustentabilidad de la cadena agroenergética sudamericana que la irrupción de las nuevas generaciones de biocombustibles no opere como una tecnología disruptiva que desplace dramáticamente a los actores originales. Por el contrario, éstos deberían estar en condiciones de generar y tener a su disposición el conocimiento y las herramientas necesarias, que les faciliten una paulatina diversificación concéntrica hacia las nuevas tecnologías.

9.2.3 Materias primas para la producción de biodiesel

El biodiesel se obtiene a partir de la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales. Los aceites vegetales pueden producirse a partir de una amplia variedad de semillas y frutos oleaginosos y otras materias primas alternativas, como las algas. También son utilizables los aceites de fritura usados.

Los países de Sudamérica produjeron en 2007 más de 130 millones de toneladas de semillas y frutos oleaginosos y alrededor de 17,3 millones de toneladas de aceites vegetales. La producción de oleaginosas de la región está altamente concentrada en la soja (87%), la materia prima de mayor disponibilidad inmediata, seguida por la palma africana, la semilla de algodón y el girasol (Tabla 9.2.3.2 y Gráfico 9.2.3.3). El aceite de soja concentra casi 80% de la producción de aceites vegetales de la región, seguido en orden de importancia por el aceite de girasol, el de palma y el de algodón (Tabla 9.2.3.4 y Gráfico 9.2.3.5).

Tabla 9.2.3.1: Clasificación de la producción de biodiesel

Categorías			
Aceites y Grasas Animales	Aceites y Grasas Vegetales	Aceites Residuales de Frituras	Materias Grasas de Desagües
Origenes			
Mataderos - Frigoríficos - Curtiembres	Agricultura Temporal y Permanente	Cocciones Comerciales e Industriales	Agua Residual de las Ciudades y de Ciertas Empresas
Obtención			
Extracción con agua y vapor	Extracción Mecánica Extracción por Solvente Extracción Mixta	Acumulaciones y Recolecciones	Procesos en fase de Investigación y Desarrollo

Fuente: IICA - Brasil 2007

Tabla 9.2.3.2: Producción de semillas y frutos oleaginosos en Sudamérica. 2007 (cifras en toneladas)

Oleaginosas	Total
Soja	112.472.935
Palma Africana	7.353.058
Algodón	4.749.269
Gisamol	4.043.463
Coco	3.100.003
Maní	908.093
Colza	194.787
Ricino	162.750
Sésamo	114.896
Cártamo	58.000
Lino	51.298
Tung	49.759
TOTAL	133.258.311

Fuente: Elaborado por IICA - Argentina en base a estadísticas oficiales de los países y FAOSTAT

Gráfico 9.2.3.3: Composición de la producción sudamericana de semillas y frutos oleaginosos

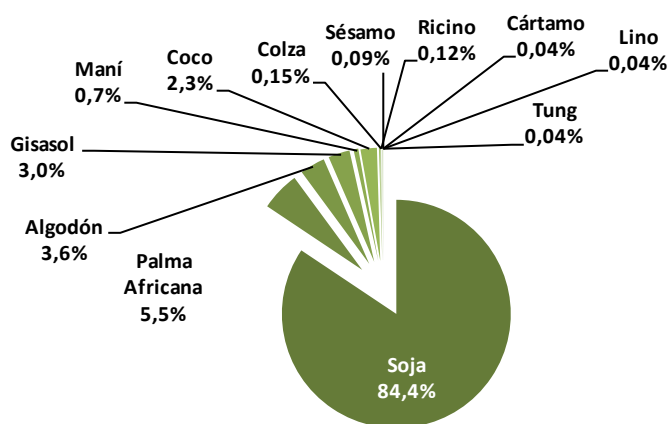
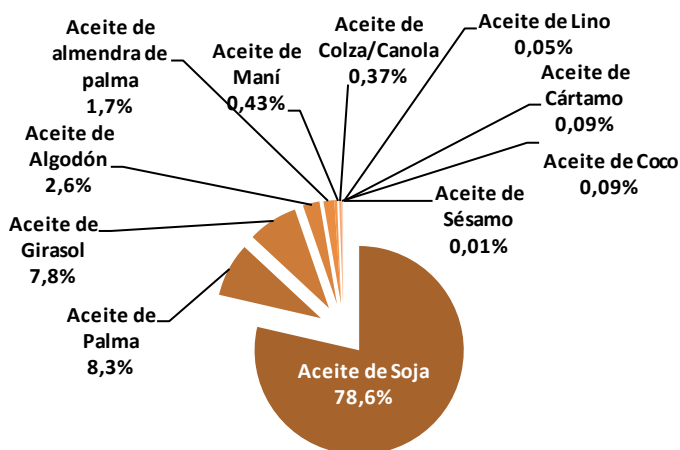


Tabla 9.2.3.4: Producción de aceites vegetales en Sudamérica. 2007 (cifras en toneladas)

Aceites	Total
Aceite de Soja	13.589.896
Aceite de Palma	1.442.631
Aceite de Girasol	1.342.023
Aceite de Algodón	446.041
Aceite de almendra de palm	288.428
Aceite de Maní	74.867
Aceite de Colza/Canola	64.091
Aceite de Coco	15.220
Aceite de Cártamo	14.820
Aceite de Lino	8.980
Aceite de Sésamo	1.600
Aceite de Ricino	s/d
Aceite de Tung	s/d
TOTAL	17.288.597

Fuente: Elaborado por IICA - Argentina en base a estadísticas oficiales de los países y FAOSTAT

Gráfico 9.2.3.5: Composición de la producción sudamericana de aceites vegetales



Brasil y Argentina concentran más del 85% de la producción de oleaginosas y aceites vegetales de la región (Gráficos 9.2.3.6 y 9.2.3.7). Mientras Brasil es el principal productor de semillas y frutos oleaginosos, Argentina es el principal productor de aceites vegetales. Otros países destacados son Colombia y Paraguay, a partir de sus complejos de palma y soja, respectivamente.

Gráfico 9.2.3.6: Participación de los países en la producción de oleaginosas. 2007

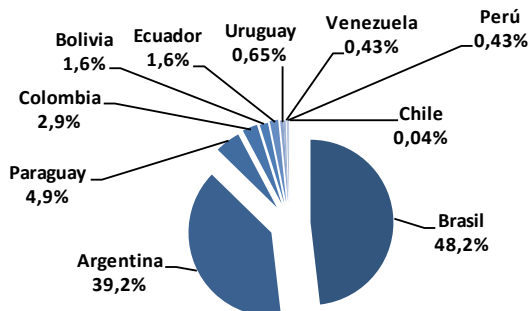
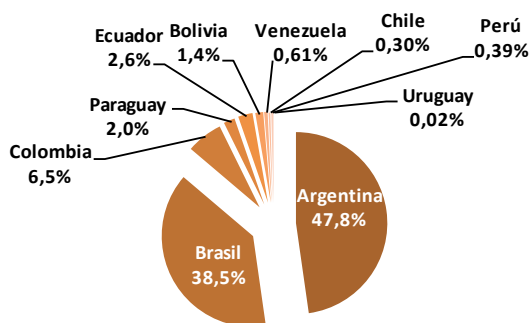


Gráfico 9.2.3.7: Participación de los países en la producción de aceites vegetales. 2007



9.2.3.1 Materias primas de disponibilidad inmediata

Las materias primas de mayor disponibilidad inmediata para la producción de biodiesel en la región son el aceite de soja, principalmente, con Brasil y Argentina como principales productores y exportadores, y el aceite de palma, en donde se destacan Colombia y Ecuador.

Soja / Soja / Soybean

Cultivo	<i>Soja - Soya (Glycine max)</i>
Características	Planta leguminosa de ciclo anual procedente del este de Asia. Es cultivada bajo condiciones cálidas en los trópicos, subtropicos y climas templados. Es un cultivo relativamente resistente a bajas y muy altas temperaturas, aunque las tasas de crecimiento decrecen por encima de 35°C y por debajo de 18°C. La soja puede crecer en un amplio rango de suelos, excepto en aquellos que son muy arenosos. No es muy exigente en suelos muy ricos en nutrientes, por lo que a menudo es un cultivo que se emplea como alternativa para aquellos terrenos poco fertilizados que no son aptos para otros cultivos. Sus requerimientos de fertilización son de 15 a 30 Kg./ha en fósforo y de 25 a 60 Kg./ha en potasio. La soja es fijadora del nitrógeno atmosférico, lo cual le permite en parte cubrir sus requerimientos para altos rendimientos. La planta es sensible al anegamiento, pero moderadamente tolerante a la salinidad del suelo. Sus semillas contienen un elevado porcentaje de proteínas que la constituyen en una de las fuentes proteicas más ricas y más baratas que existen. La soja es la legumbre básica en la alimentación humana de muchos países de Asia Oriental (China, Japón y Corea, etc.) y es utilizada para la producción de aceite y otros productos de consumo humano, y de harinas proteicas para alimentación animal.
Requerimiento de agua	Para máxima producción: 450-700 mm por temporada dependiendo del clima y la duración del período de crecimiento.
Contenido de aceite	18%-20%
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	205
Subproductos /co-productos de su utilización para biocombustible	Harina de soja (alimentación animal) y glicerina
Rendimiento agrícola (tn/ha)	2,27 (media mundial)
Promedio región (ponderado)	2,78
Países con mayor rendimiento	Argentina (2,97) , Brasil (2,73), Paraguay (2,41) y Uruguay (2,13)
Potencial	7-8 (con agregado de nutrientes, riego o aporte de agua a través de napas en sur de Santa Fe, Argentina)

Rendimiento biodiesel x ha (lts/ha) 465

Con rendimiento agrícola medio regional 570

En países de mayor rendimiento agrícola 437-609

Potencial 1.435 – 1.640

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; FAO Water Development and Management Unit y fuentes varias.

Tabla 9.2.3.8: Soja en América del Sur – Estadísticas productivas y comerciales

Cultivo	Variable/País	Región Sur						Región Andina				Total	
		Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)		
Soja	Área sembrada (ha)	20.581.000	16.141.337	365.700	2.429.794	960.000	0	13.000	26.450	31.000	712	40.548.993	
	Producción agrícola (tn)	56.316.000	47.482.784	778.000	5.855.804	1.900.000	0	23.800	52.900	61.000	2.647	112.472.935	
	Rendimiento agrícola (tn/ha)	2,73	2,97	2,13	2,41	1,97	0	1,83	2,00	1,96	1,56	2,78	
	Comercio Exterior* (toneladas)	Exportaciones	23.733.775	11.842.536	773.142	2.380.344	66.057	9.711	0	111	4.673	78	38.810.427
		Importaciones	97.928	2.245.391	26.749	15.322	244.490	188.579	1.926	332.064	354	48.962	3.201.765
	Producción de aceite (toneladas)**	6.046.000	6.962.675	2.600	252.904	204.200	30.000	17.000	59.887	14.000	630	13.589.896	
	Comercio Exterior de Aceite* (toneladas)	Exportaciones	2.342.541	6.403.549	0	206.202	198.534	0	0	6.689	n.d.	0	9.157.515
		Importaciones	44.049	309	14.795	2.714	275	2.629	256.748	163.844	97.016	300.544	882.923
	Producción de Harina de Soja	24.109.000	28.085.817	n.d.	1.047.096	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	53.241.913
	Comercio Exterior de Harinas de Soja* (toneladas)	Exportaciones	12.474.182	25.991.012	0	914.172	1.022.265	0	0	0	0	0	40.401.631
		Importaciones	101.215	2.477	50.068	-	502	702.665	643.655	810.604	523.784	776.895	3.611.865

(1) Fuente: MAPA - CONAB

(2) Fuente: Sappya

(3) Fuente: MGAP-DIEA

(4) Fuente: CAPECO

(5) Fuente: FAOSTAT. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(6) Fuente: FAOSTAT

(7) Fuente: FAOSTAT. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(8) Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Dirección de Política Sectorial. GSI. Preliminar 2007

(9) Fuente: : FAOSTAT. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(10) Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura - Dirección de Información Agraria. Preliminar 2006/07.

*Fuente: UN Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007.

**Fuente: (1) ABIOVE . (2) Sappya. (4) IICA - Paraguay. (8) IICA-Colombia. FAOSTAT

La soja es la principal oleaginosa producida en América del Sur. En 2007, se sembraron con soja 40,5 millones de hectáreas, con una producción de 112 millones de toneladas (52% de la producción mundial). El rendimiento agrícola alcanzado por la región en dicho año se ubicó en 2,78 tn/ha, un 22% por encima de la media mundial. Los mejores rendimientos se obtienen en Argentina, Brasil y Paraguay, justamente los principales productores de soja en la región. Por su parte, la producción de aceite de soja sumó 13,6 millones de toneladas en 2007 (37% de la producción mundial).

Gráfico 9.2.3.9: Soja, participación en la producción por países

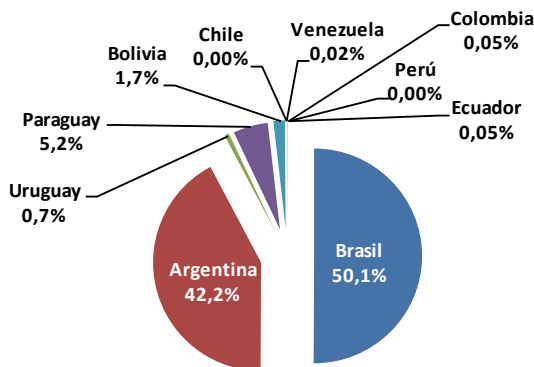
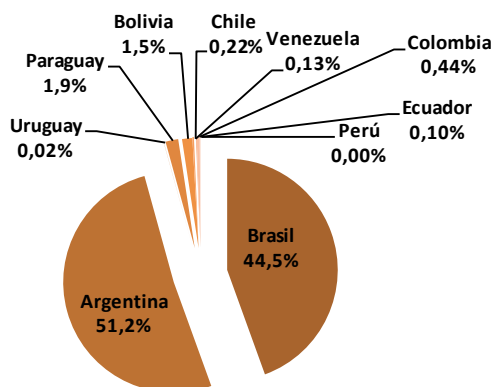


Gráfico 9.2.3.10: Aceite de soja, participación en la producción por países



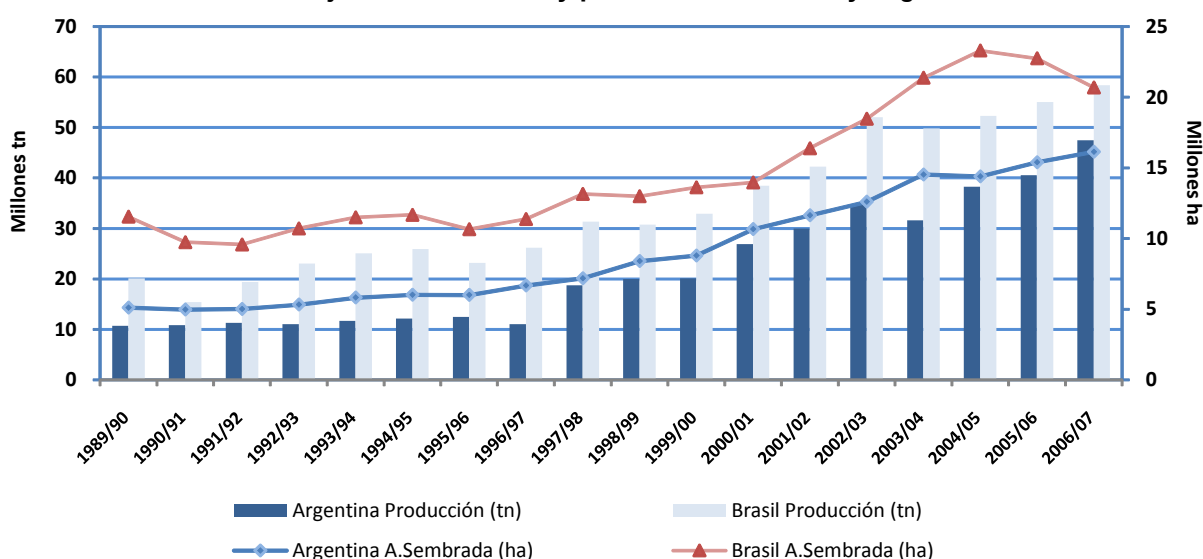
La producción del complejo sojero se concentra casi en un 100% en los países de la Región Sur, que a su vez conforma el mayor bloque mundial de producción de la oleaginosa. Se destacan particularmente Argentina, Brasil y Paraguay. Argentina es el segundo productor y el primer exportador mundial de aceite de soja, mientras que Brasil ocupa el cuarto lugar mundial como productor y el segundo como exportador. Brasil y Argentina son el segundo y tercer productor y exportador mundial de grano, respectivamente, y Paraguay ocupa el sexto lugar en la producción mundial y el cuarto en la exportación mundial. Por su parte, Bolivia y Uruguay, con niveles productivos sustancialmente menores, registran, en el transcurso de la década, una expansión significativa del área cultivada y de la producción de soja. Bolivia es exportador neto de grano y de aceite, mientras que Uruguay lo es solo de grano y registra importaciones netas positivas de aceite. Chile no registra producción sojera, siendo importador neto de grano y de aceite.

La producción de los países de la Región Andina sumó apenas 140.000 toneladas de grano y 91.500 toneladas de aceite en 2007. El principal productor andino de grano es Ecuador, mientras que Colombia lidera la producción de aceite. Todos los países de la región son importadores netos de aceite y de grano, con la excepción, en este último caso, de Ecuador que en 2007 registró un saldo exportable del 8% de la producción de grano.

El hecho de que Argentina y Brasil estén en condiciones de consolidarse entre los principales productores y exportadores mundiales de biodiesel se debe al alto nivel de competitividad de sus cadenas oleaginosas, que en ambos casos están altamente centralizadas en la soja. Hasta el momento, el aceite de soja ha sido la principal materia prima utilizada para la producción de biodiesel en ambos países.

En el caso de Argentina, su complejo oleaginoso es probablemente el más eficiente del mundo, a partir de sus menores costos relativos de implantación de oleaginosas, la ubicación privilegiada de su industria aceitera - en los puertos de salida y muy próxima a la zona núcleo de producción de soja (en un radio menor a 300 Km.) -, el alto desarrollo tecnológico y escala de las plantas, y un alto nivel de organización y desarrollo a lo largo de toda la cadena. Desde 2004, se ha producido en este país un boom de inversiones en la industria aceitera, estimado en US\$ 770 millones, destinadas a aumentar la capacidad de procesamiento y refinamiento y la logística portuaria y de embarque, entre otros aspectos. Entre 2003 y 2007, la capacidad de procesamiento creció un 37%, para ubicarse actualmente en el orden de 45 millones de toneladas anuales. El área y la producción de soja en Argentina han manifestado un crecimiento explosivo desde 1996 en adelante, a partir de la conjunción entre el sistema de labranza de siembra directa y la utilización masiva de semillas genéticamente modificadas.

Gráfico 9.2.3.11: Soja, área sembrada y producción en Brasil y Argentina 1990-2007



Fuente: Elaborado por IICA - Argentina con datos de SAGPyA y MAPA

Todos estos motivos han llevado a Argentina a consolidarse como el primer exportador mundial de aceite de soja.

El complejo sojero brasileño también cuenta con destacadas ventajas competitivas que le han permitido a este país situarse como segundo exportador mundial de grano y aceite de soja. Al igual que en Argentina, el área y la producción de soja han tenido una expansión sustancial. También ha sido significativo el crecimiento de su industria aceitera, en el transcurso de la presente década. De acuerdo a estadísticas de ABIOVE la capacidad de procesamiento creció de 108.000 toneladas diarias en 2001 a 149.500 toneladas diarias en 2007 (45 millones de tn/año).

Las perspectivas de ampliar la producción brasileña de soja son auspiciosas teniendo en cuenta su significativo potencial de expansión agrícola.

Ambos países cuentan con muy elevados saldos exportables de aceite (8,7 millones de toneladas en 2007) y de grano (35,6 millones de toneladas). Argentina exportó en 2007 el 92% de su producción de aceite y el 25% de su producción de grano, mientras que Brasil exportó en el mismo año el 39% de su producción de aceite y el 42% de su producción de grano. En este sentido, el biodiesel se presenta como una gran oportunidad para el agregado de valor a nivel doméstico. Tanto el complejo sojero argentino como el brasileño pueden

satisfacer holgadamente los requerimientos del mercado doméstico de biodiesel surgidos de sus legislaciones.

En el caso de Argentina, de acuerdo al Programa Nacional de Biocombustibles de la SAGPyA, el mercado proyectado al primer año de implementación de la Ley de Biocombustibles se situará en 645.000 toneladas de biodiesel en 2010, que surgirán a partir de la mezcla obligatoria de diesel con un 5% de biodiesel. Según estimaciones de dicho organismo, abastecer el mercado interno en 2010 requerirá 670.000 toneladas de aceite (10% de su producción y exportación de 2007), 3,5 millones de toneladas de soja (7% de la producción y 30% de la exportación de 2007) y 1,3 millones de hectáreas de soja (8% del área sembrada con soja o 4% del área sembrada con granos en 2006-07). De acuerdo al INTA, partiendo del supuesto de una mayor tasa de crecimiento en el consumo de diesel, el mercado interno de biodiesel se situaría en 886 millones de litros en 2010 (780.000 toneladas). Según sus cálculos, la demanda interna de biodiesel requeriría 4,9 millones de toneladas de soja y un área agrícola de 1,09 millones de hectáreas (soja de 1° con tecnología de punta en siembra directa), 1,76 millones de hectáreas (soja de 1° en siembra directa o convencional) o 2,23 millones de hectáreas (soja de 2° en siembra directa).

En el caso de Brasil, satisfacer su requerimiento actual de B3³⁷ representa alrededor de 1,35 millones de toneladas de aceite (22% de su producción y 58% de la exportación de 2007), 6,8 millones de toneladas de grano (12% de la producción y 29% de la exportación de 2007) y 2,5 millones de hectáreas de soja (12% del área sembrada con soja y 5,5% del área sembrada con granos en 2007). Para cumplir con el requerimiento de utilización de B5 en 2013, Brasil debería destinar a la producción de biodiesel 2,3 millones de toneladas de aceite, 12,1 millones de toneladas de grano y 4,4 millones de hectáreas de soja.

Con la excepción de Chile, el resto de los países de la Región Sur también cuenta con la suficiente disponibilidad de soja como para cubrir cómodamente los requerimientos domésticos de biodiesel que surgen de sus legislaciones actuales (o eventuales, en el caso de Bolivia). Paraguay exportó en 2007 el 41% de su producción de grano y el 82% de su producción de aceite, mientras que Bolivia exportó el 97% de su producción de aceite y Uruguay el 99% de su producción de grano.

La utilización de soja como materia prima para biodiesel presenta algunas ventajas de peso que la posicionan como la opción más probable para el corto/mediano plazo, especialmente en los principales productores del continente. Entre ellas se pueden mencionar las siguientes:

- Agronómicamente, se destaca por su plasticidad ambiental, que le permite crecer en distintos ambientes agro ecológicos. La existencia de cultivares con diferentes requerimientos de luz, temperatura y diferentes hábitos de crecimiento, permiten adaptar el cultivo a distintas regiones.
- En el caso de los países de la Región Sur, la muy alta disponibilidad inmediata de soja, expresada en elevados saldos exportables de grano y de aceite, garantiza el abastecimiento para la industria doméstica y de exportación de biodiesel, brindando además una alta capacidad de respuesta a eventuales incrementos de la demanda.
- El alto grado de experiencia y conocimiento en el cultivo y su manejo, como así también el alto nivel de desarrollo tecnológico alcanzado a nivel agrícola, a partir de la incorporación y utilización creciente de sistemas de labranzas conservacionistas, biotecnología y mejoras en los sistemas y técnicas de implantación, nutrición, protección y cosecha.

³⁷ B4 a partir de Julio de 2009

- El alto nivel de desarrollo tecnológico en el resto de los eslabones de la cadena y la alta escala y eficiencia de la industria aceitera de la región (Argentina y Brasil).
- El alto nivel de desarrollo, organización e institucionalidad de toda la cadena productiva.
- Los menores costos de producción de la soja, sus bajos requerimientos de inversión de capital y, generalmente, sus mayores márgenes de rentabilidad, en comparación con otros cultivos oleaginosos.
- Los tradicionalmente menores precios de su aceite con respecto a los aceites de varias oleaginosas (girasol, colza, algodón, ricino o maní, entre otros).
- No es un producto crítico para la seguridad alimentaria de los países de la región. El consumo doméstico humano del grano es insignificante, mientras que, como se comentó más arriba, en el caso del aceite, los países cuentan con elevados coeficientes de exportación.
- En relación con otras oleaginosas, la soja es la principal productora de proteínas vegetales por hectárea. Su grano contiene entre 38% y 42% de contenido proteico, altamente valorado y consumido en la alimentación animal y humana. En este sentido, la producción de harina de soja resultante de la extracción del aceite del grano aporta decisivamente a la rentabilidad de los proyectos de biodiesel. Además, al ser el biodiesel un co-producto de la producción de harina de soja, no se afecta la cadena alimentaria de la región (salvo que se sustituyan significativamente tierras destinadas a la producción de cultivos alimentarios o a ganadería). Un mayor procesamiento doméstico del grano actualmente exportado, generaría en los países de la región una oferta adicional significativa de harina de soja. Ello tendría un efecto favorable sobre las cadenas agroindustriales de producción intensiva de animales (vacunos, aves, cerdos) que en distinta proporción demandan harina de soja para sus dietas. En países importadores de harina de soja, como Uruguay y los de la región Andina, el mayor procesamiento doméstico del grano podría generar niveles más cercanos a la autosuficiencia de harina, menores precios para este producto y ganancias de competitividad en las cadenas demandantes.
- La alta difusión de la tecnología de siembra directa aplicada al cultivo de soja en los países de la región, sistema que contribuye favorablemente a la sustentabilidad ambiental y al balance de emisiones del biodiesel.
- En el caso de los países de la Región Andina, la soja representa una oportunidad para la diversificación productiva del sector agroindustrial. Por ejemplo, en Colombia la soja se presenta como un cultivo apropiado para la rotación dentro de los sistemas regionales de producción: maíz - soja en el Valle del Cauca, arroz – soja en los Llanos Orientales o sorgo – soja en Tolima y el Valle del Cauca, mientras que en Ecuador es una alternativa adecuada como cultivo de verano para pequeños agricultores sin infraestructura de riego (se aprovecha el remanente de humedad del ciclo invernal) y para la rotación con maíz (SICA). En Perú, la soja puede adaptarse a las zonas climáticas de la Costa Norte, Costa Central y Selva.

Las principales desventajas de la utilización de soja como materia prima para biodiesel tienen que ver con los siguientes aspectos:

- Su bajo contenido de aceite y rendimiento potencial en litros de biodiesel por hectárea la convierten en una alternativa más ineficiente, en comparación con la mayoría de las oleaginosas, desde el punto

de vista del área agrícola que requeriría para abastecer la demanda doméstica o internacional de biocombustibles³⁸. Vale señalar que dicha restricción podría ser superada a través de la difusión de alternativas de doble cultivo, por ejemplo colza – soja de segunda en Argentina, lo que aumentaría significativamente el rendimiento potencial de biodiesel por hectárea.

- Utilizar exclusivamente soja para atender los requerimientos del mercado doméstico y la demanda de exportación podría acentuar la tendencia a la concentración de la producción agrícola en la región Sur, especialmente en los casos de Argentina y Paraguay, donde el área dedicada a este cultivo representa más del 50% de la superficie bajo producción de granos. Si la expansión de la producción se realiza vía incremento del área, se plantea el riesgo de desplazamiento o sustitución de otros cultivos alimentarios y actividades pecuarias, o de avance de la frontera agrícola sobre los ecosistemas naturales y reducción de la biodiversidad. Este escenario tendría además implicancias negativas desde el punto de vista de los perjuicios que genera un monocultivo en términos de degradación de los suelos y pérdida de su capacidad productiva, mayor presión de plagas, malezas y enfermedades o mayor riesgo de contaminación por plaguicidas, entre otros. Estas presiones pueden ser atenuadas mediante un crecimiento ordenado, que no ponga en riesgo la sustentabilidad de los ecosistemas naturales y agrícolas de la región (ordenamiento territorial/ zonificación ecológica-económica), rotación de cultivos y sistemas integrados de producción que incorporen algún tipo de diversificación, tales como los cultivos intercalados o interseembra (asociación de dos cultivos en un mismo suelo y ciclo), entre otros.
- Desde el punto de vista social, su menor impacto relativo en la generación de empleo directo, elemento común al resto de los cultivos oleaginosos de carácter extensivo. Cabe señalar, como contrapartida, la importancia de la soja para la agricultura familiar en algunos países relevantes, tales como Argentina, en donde las explotaciones familiares representan el 54% de las explotaciones dedicadas la producción de este cultivo.
- La calidad química del aceite de soja - caracterizada por una baja proporción de ácidos grasos mono-insaturados (23,5%) y una alta proporción de ácidos grasos poli-insaturados (60,5%) - da lugar a un biodiesel aceptable, pero que no es óptimo en comparación al obtenido a partir de otras materias primas (aceites de colza, de girasol alto oleico y de cártamo alto oleico).
- Si bien el aceite de soja cotiza usualmente por debajo de otros aceites vegetales, el uso creciente y significativo para biodiesel por parte de sus tres principales productores mundiales (Argentina, EE.UU. y Brasil)³⁹, junto a la tendencia estructuralmente creciente del consumo humano de aceite de soja por parte de China y otros países del Sudeste Asiático, configuran – *ceteris paribus* – un escenario de altos precios y costos de oportunidad en el corto-mediano plazo.
- En la región andina la soja es un cultivo no tradicional, con lo cual enfrenta determinadas limitantes a superar, típicas de estos casos, relacionadas con la menor experiencia y conocimiento acumulado sobre el cultivo y su manejo, el desarrollo de infraestructura y de tecnologías de punta, la falta de un número suficiente de variedades para todas las zonas agroecológicamente aptas, menor desarrollo y articulación de la cadena, capacidad instalada insuficiente para el procesamiento de

³⁸ Esta desventaja resultaría relevante en el caso en que los requerimientos de la industria resulten en una expansión de la frontera agrícola. En el caso del biodiesel hecho a partir de soja producida actualmente pero no procesada, éste representaría un co-producto de la producción de harinas proteicas y el criterio de eficiencia en el uso de la tierra perdería relevancia.

³⁹ De acuerdo a proyecciones de Oil World, la producción de biodiesel podría representar hasta el 25% del consumo total de aceite de soja en Argentina, Brasil, Estados Unidos y la Unión Europea durante el período 2008/09.

oleaginosas de ciclo corto, etc. A su vez, el biodiesel de soja debería competir con el de palma, que se perfila como más competitivo en estos países. Entre los países de la región sur, vale señalar la baja capacidad instalada y oferta de aceites vegetales en Uruguay. No obstante, en este país la incorporación del biodiesel a la matriz energética puede ser interpretada como una oportunidad para la expansión de la industria de aceites vegetales en general y de la agroindustria sojera en particular.

Palma aceitera / Dendê/ Oil Palm

Cultivo	<i>Palma Aceitera (Elaeis guineensis)</i>
Características	<p>La palma aceitera es una planta monocotiledónea, incluida en el orden Palmales, familia Palmaceae, originaria de África. Se trata de un cultivo perenne propio de regiones tropicales húmedas, caracterizadas por altas temperaturas, abundante insolación y suficiente humedad. La mejor adaptación del cultivo se da hasta alturas de 500 m sobre el nivel del mar y en la franja ecuatorial entre los 15° latitud norte y 15° latitud sur, donde las propiedades ambientales son estables. Temperaturas mensuales de 25 a 28° C en promedio son favorables al cultivo, si la temperatura media mínima no es inferior a 21 °C. La palma aceitera se adapta a una amplia variedad de suelos, aunque se desarrolla mejor en suelos profundos, bien drenados, fértiles y con abundante materia orgánica. Resiste niveles bajos de acidez, hasta pH 4. Su demanda de nutrientes es pequeña en el primer año de cultivo, pero se incrementa significativamente a partir de los años, 3-4-5, tornándose estable a partir de entonces. La palma aceitera es la oleaginosa perenne de mayor productividad y rendimiento de aceite por unidad de superficie, superando en 5 a 7 veces a oleaginosas de ciclo corto. Comercialmente tiene un promedio de vida de 24-28 años dependiendo del germoplasma cultivado. El rendimiento de la palma es progresivo: produce racimos de frutos compactos, cuyo peso varía según la edad de la plantación, obteniendo una producción máxima entre el octavo y el décimo año de vida, presentando de 500 a 1.500 frutos en su estado adulto. Del fruto de la palma se producen dos tipos distintos de aceites: el aceite de palma propiamente dicho (aceites ácidos palmíticos de la parte carnosa del fruto, pulpa o mesocarpio) y el aceite de almendra o palmiste (aceites ácidos láuricos de la almendra). Tanto el aceite de pulpa como el de almendra se utilizan en la alimentación y la industria (producción de margarina, manteca, aceite de mesa y de cocina, jabones, esmalte, pintura, etc.). (ANCUPA /ACUPALMA/FEDEPALMA/CORPODIB/IICA-Perú)</p>
Requerimiento de agua	La cantidad óptima por mes es de 150 a 180 mm, y de 1800 a 2200 mm por año, si está bien distribuida en todos los meses del año. Precipitaciones de 1.500 mm anuales son también adecuadas.
Contenido de aceite	20%-25%
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	240
Subproductos / co-productos de su utilización para biocombustible	<p>La molturación de los racimos de frutos frescos produce el aceite de palma en bruto y el palmiste como subproducto. El palmiste de palma puede molturarse mediante un proceso separado que produce aceite de palmiste y torta o harina proteínica. De los derivados económicamente útiles del fruto de la palma, un poco más del 90% en peso es aceite y el 10% es harina de palmiste. La torta o harina de palmiste se usa como alimento para animales, en forma directa o integrando las raciones balanceadas para aves, cerdos y ganado bovino. Otros subproductos del procesamiento del fruto de la palma son los racimos vacíos y los efluentes del proceso de extracción, los cuales son reciclables en la plantación como fertilizantes orgánicos (los efluentes requieren de tratamiento previo). Del proceso de producción de biodiesel se obtiene glicerina. (CORPODIB/SNV)</p>
Rendimiento agrícola (tn/ha)	13,86 (media mundial)
Promedio región (ponderado)	14,63
Países con mayor rendimiento	Colombia (19) y Perú (18,9)
Potencial	28-32 (planta de 5 a 6 años de edad, con alto nivel de tecnología y condiciones óptimas para el desarrollo de la planta) (CORPODIB/FEDEPALMA)

Rendimiento biodiesel x ha (lts/ha) 3.325

Con rendimiento agrícola medio regional	3.511
En países de mayor rendimiento agrícola	4.543-4.560
Potencial	7.200

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; FAO Water Development and Management Unit y fuentes varias.

Tabla 9.2.3.12: Composición y productos de los racimos de Palma Africana

Racimo	Fruto 65%	Pulpa o mesocarpio 62%	Aceite de palma crudo 45%	Aceite de palma refinado 94%	Oleína Estearina	
			Residuos 6%			
			Fibra 55%			
		Nuez 38%	Almendra o palmiste crudo 30%	Aceite de palmise crudo 43%	Aceite refinado de palmise 85%	
				Residuos 15%		
				Torta de palmise 50%		
Residuos 7%			Cascara 70%			
Tusa o raquis 35%						

Fuente: CORPODIB

Tabla 9.2.3.13: Palma aceitera en América del Sur – Estadísticas productivas y comerciales

2007		Región Sur						Región Andina				Total	
Cultivo	Variable/País	Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)		
Palma	Área Plantada (hectáreas)	88.000	0	0	13.500	0	0	52.384	329.450	223.999	26.000	733.333	
	Producción agrícola (toneladas)	904.000	0	0	130.000	0	0	334.262	3.674.842	1.981.506	328.448	7.353.058	
	Rendimiento agrícola (tn/ha)	10,28	0	0	9,63	0	0	12,33	19,00	8,85	18,93	14,63	
	Comercio Exterior* (tn)	Exportaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	12
		Importaciones	0	0	0	0	0	0	7	0	6	6	19
	Producción de aceite de Palma (tn)	190.000	0	0	3.000	0	0	70.362	734.968	396.301	48.000	1.442.631	
	Comercio Exterior Aceite de Palma ** (tn)	Exportaciones	2.402	10	162	0	0	0	315.575	171.638	745	490.532	
		Importaciones	98.607	1.267	4.883	214	420	9.103	38.257	14.616	76	24.030	191.473
	Producción de aceite de almendra de palma o palmiste (tn)	75.000	0	0	6.000	0	0	3.834	169.894	30.000	3.700	288.428	
	Comercio Exterior aceite de almendra de palma *** (tn)	Exportaciones	920	0	0	1.736	0	0	0	29.822	4.411	1	36.890
		Importaciones	87.815	6.131	679	0	0	167	90	0	0	637	95.519
	Producción de harina de palmiste (tn)	n.d.	0	0	n.d.	0	0	7.159	92.114	n.d.	n.d.	99.273	

(1) Fuente: MAPA / IBGE - Producción agrícola municipal y levantamiento sistemático de la producción agrícola. Datos de 2005 (últimos disponibles). El dato de área corresponde a cosechada. FAOSTAT: Datos de producción de aceite de palma y de palmiste 2007.

(2) Fuente: -

(3) Fuente: -

(4) Fuente: FAOSTAT. La estadística del área corresponde a la cosechada, no a la plantada.

(5) Fuente: -

(6) Fuente: -

(7) Fuente: Empresas Asociadas a Acupalma 2007.

(8) Fuente: MADR. Dirección de Política Sectorial. GSI. Preliminar 2007. FEDEPALMA. Datos de producción de aceite de palma, de almendra de palma y de harina de palmiste.

(9) Fuente: Ancupa - Fedapal

(10) Fuente: DGIA - MINAG. Estadística de área plantada corresponde al año 2006 (área cosechada en 2007: 12.594 ha). FAOSTAT: Dato de producción de aceite de palmiste 2007.

**Fuente: UN Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007

***Fuente: UN Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007.

***Fuente: UN Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007. Partidas arancelarias 151321 (aceite de almendra de palma y babasú crudo) y 151329 (aceite de almendra de palma y babasú refinado).

Si bien resulta complejo agregar las estadísticas productivas de palma de los países considerados⁴⁰, puede afirmarse que existen al menos 733.000 hectáreas plantadas con este cultivo en la región, con una producción del orden de las 7,35 millones de toneladas (3,8% de la producción mundial). En 2007 la región produjo alrededor de 1,4 millones de toneladas de aceite de palma (3,4% de la producción mundial) y unas 288.000 toneladas de aceite de almendra de palma.

La superficie plantada y la producción del complejo palmicultor se concentran mayoritariamente en los países de la región andina (alrededor del 86% de la producción sudamericana), en donde la palma aceitera se destaca como el principal cultivo oleaginoso y se encuentra proceso de expansión. Colombia y Ecuador (5° y 7° principales productores mundiales de palma) son los principales productores de la región. En los países de la región sur, Brasil es el único país que cuenta con niveles de plantación y producción relativamente significativos.

Gráfico 9.2.3.14: Palma, participación en la producción por países

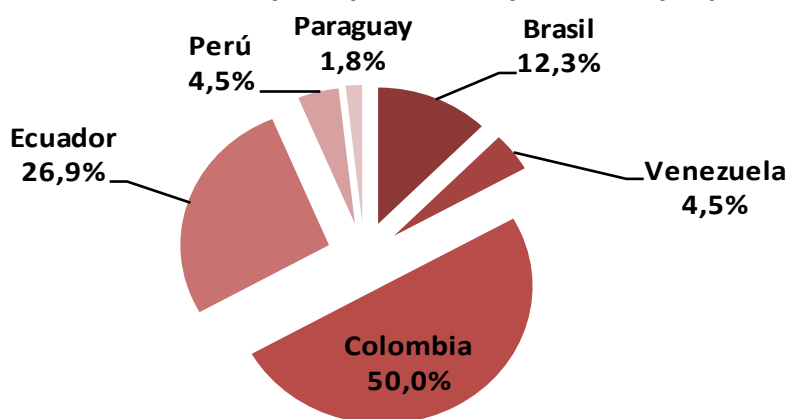
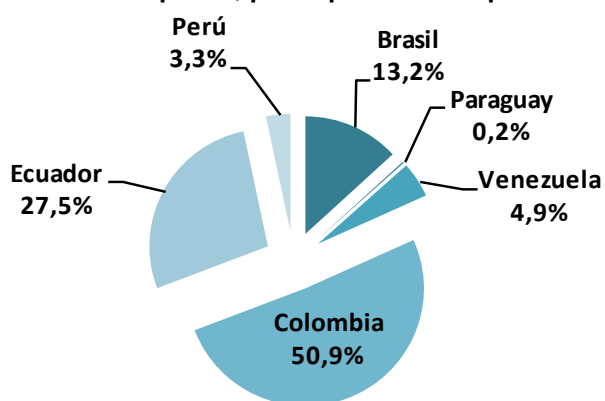


Gráfico 9.2.3.15: Aceite de palma, participación en la producción por países

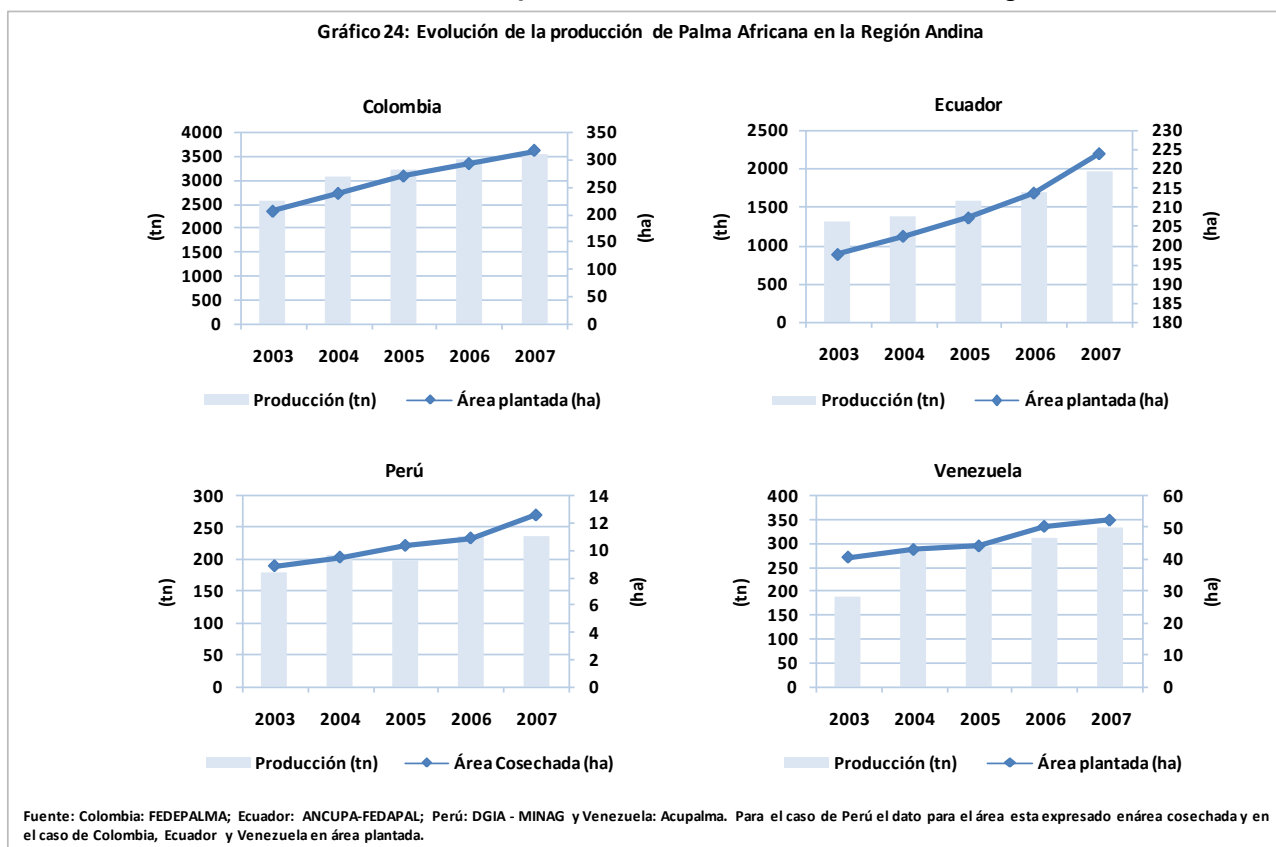


El rendimiento agrícola medio de la región se ubica por encima de la media mundial, aunque por debajo de los obtenidos por Malasia e Indonesia⁴¹, los dos principales productores mundiales de palma aceitera. Colombia y Perú son los países con mayores rendimientos en la región, situados en niveles similares a los alcanzados por los países del Sudeste Asiático.

⁴⁰ Esto se debe a que algunos países presentan registros estadísticos de área cosechada, en lugar de área plantada y a que, al cierre de este estudio, algunos países no disponían de estadísticas de producción agrícola de palma correspondientes al año 2007.

⁴¹ En 2007, el rendimiento de la producción de palma en estos países se situó en 20,5 y 17 tn/ha, respectivamente.

Tabla 9.2.3.16: Evolución de la producción de Palma Africana en la Región Andina



Colombia es el país de la región mejor posicionado para la producción de biodiesel a partir de la palma aceitera. La palma se cultiva en más de setenta municipios distribuidos en cuatro zonas productivas: Norte (Magdalena, Norte del Cesar, Atlántico, Guajira), Central (Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar) y Oriental (Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá). Además de poseer condiciones agroecológicas muy favorables y una alta experiencia en el cultivo de palma (su producción a escala comercial se inició en la década del 40, consolidándose en los años 60 del siglo pasado), la palmicultura colombiana se encuentra en expansión, y cuenta con una agroindustria consolidada, con alto desarrollo institucional y avances e innovaciones tecnológicas acordes con los requerimientos del mercado (CORPODIB). Los aceites de palma y de palmiste representan alrededor del noventa por ciento de la producción colombiana de aceites y grasas. De acuerdo a estadísticas de FEDEPALMA, en 2007 operaban en Colombia 53 plantas de beneficio de fruto de palma aceitera con una capacidad instalada de procesamiento de 1037 toneladas/hora de racimos de fruta fresca (RFF). Al cierre del presente estudio ya estaban operando 4 plantas de biodiesel basadas en palma, mientras que otras 2 entrarán en funcionamiento en 2009. De acuerdo a proyecciones privadas, la producción de aceite de palma superará las 800.000 toneladas en 2008 y se aproximará a las 900.000 toneladas en el año siguiente. Colombia cuenta con elevados y crecientes saldos exportables de aceite de palma, con los cuales está en condiciones de cubrir su mercado doméstico de biodiesel (B5) y disponer de un remanente para exportación o para elevar la mezcla obligatoria con gasoil hasta un nivel del 15% (FEDEPALMA). Considerando el consumo de diesel de 2008, para abastecer al mercado doméstico de B5 se requerirían 55.600 hectáreas con palma (17% del área plantada actual).

Las posibilidades de expansión del complejo palmicultor colombiano son elevadas si se tiene en cuenta que, de acuerdo a CORPODIB, Colombia cuenta con más de 3,5 millones de hectáreas sin restricciones edafoclimáticas para el cultivo de palma aceitera, y un poco más de 6 millones de hectáreas con restricciones

moderadas, de las cuales un 35% tienen precipitación deficitaria que puede ser suplida por sistemas óptimos de riego.

Ecuador es el segundo productor de palma y aceite de palma de la región. La palma se cultiva en 11 de sus 23 provincias. El 70% de la producción se concentra en las provincias de Pichincha, Esmeraldas y Los Ríos. Las zonas de producción se encuentran ubicadas principalmente en Santo Domingo de los Colorados, Quevedo, Quinindé y Francisco de Orellana. Al igual que en el caso de Colombia, Ecuador cuenta con condiciones climatológicas óptimas para el cultivo de palma aceitera, el área plantada, la producción y la capacidad de procesamiento se encuentran en expansión, y dispone de excedentes exportables crecientes (43% de la producción de aceite, en 2007). La cadena de la palma en Ecuador también cuenta con experiencia (se cultiva comercialmente desde la década del 60), con un alto nivel de organización y sus instituciones promueven la capacitación, transferencia tecnológica, investigación y promoción del cultivo a lo largo de la cadena. El cultivo de la palma en Ecuador se destaca por su importancia social. Según el último Censo de Palmicultores (2005), existen en el país alrededor de 5.500 productores de palma, de los cuales la mayoría son pequeños palmicultores con una extensión no mayor a 50 hectáreas y apenas 9 productores superan 1.000 hectáreas. Ecuador está en condiciones de cubrir con sus excedentes exportables de aceite de palma un eventual mercado doméstico de B5. Se estima en este país existen aproximadamente 1,5 millones de hectáreas con potencialidades para el cultivo de la palma.

Venezuela y Perú también cuentan con condiciones edafoclimáticas y experiencia en la producción de palma aceitera (principal cultivo oleaginoso en ambos casos), aunque poseen niveles productivos sustancialmente menores a los de Colombia y Ecuador. En estos países el área plantada y la producción del complejo palmicultor registran un crecimiento sostenido en el transcurso de la actual década, aunque aún se mantienen como importadores netos de aceite de palma.

En Venezuela, el área plantada, que se concentra principalmente en la región occidental, se duplicó entre 2001 y 2008. Los rendimientos se mantienen bastante por debajo de los obtenidos por Colombia, como consecuencia de la falta de mantenimiento y renovación de las plantaciones. Se espera un incremento de la producción en los próximos años dado que algunas de las principales productoras del país tienen proyectos de ampliación de nuevas áreas y renovación de las existentes, y a que estas nuevas plantaciones generarían rendimientos superiores, ya que se están sembrando con novedosos sistemas de riego (ACUPALMA). La capacidad instalada total de las plantas extractoras de aceite de palma se ubicó 174,6 toneladas de RFF por hora en 2007. En dicho año, el aceite de palma representó el 26% del consumo de aceites vegetales en Venezuela y aún se mantienen altos niveles de importación del mismo (45% del aceite de palma disponible para el consumo en 2007). El Plan de Siembra 2007-2011 de la Asociación Venezolana de Cultivadores de Palma Aceitera (ACUPALMA) tiene como metas incorporar 60.000 hectáreas a la producción, con rendimientos de 20 tn/ha, ampliar e instalar capacidad de extracción de aceite crudo en 583 toneladas de RFF por hora, incorporando 264.000 toneladas de aceite de palma a su producción actual. De cumplirse dichas metas, Venezuela dispondría en 2011 de excedentes exportables para la producción de biodiesel a partir de la palma.

En Perú (región amazónica), la palma es el principal cultivo oleaginoso y tiene un amplio potencial de crecimiento. Las áreas destinadas a la producción de palma aceitera se ubican principalmente en San Martín, Ucayali, Loreto y Huanuco. De acuerdo al INRENA, citado por IICA-Perú, existen 4,86 millones de hectáreas con capacidad para la producción de este cultivo, siendo el departamento de Loreto el que cuenta con la mayor disponibilidad de terreno, seguido de Ucayali y Huánuco. Se estima que existen 32.000 productores de palma en Perú, y al cierre del presente estudio operaban en el país 5 plantas extractoras de aceite de palma, con una capacidad instalada total de 88 toneladas de RFF por hora, la cual se encuentra subutilizada.

También operan cuatro plantas piloto de biodiesel de palma, a la que se suman tres proyectos de biodiesel de palma que totalizan una capacidad de producción de 205.000 toneladas anuales.

En el caso de los países de la región sur, se destaca exclusivamente Brasil, tercer productor de palma de Sudamérica. La producción brasileña de palma se concentra mayoritariamente en la región Norte del país, específicamente en la Amazonia tropical húmeda, seguida por el Sudeste de Bahía y algunas áreas específicas. La palma se presenta como una opción para abastecer el consumo doméstico de biodiesel en las regiones Norte y Nordeste, y es altamente valorada por el Gobierno, debido a su impacto social⁴². Si bien Brasil es actualmente importador neto de aceite de palma, cuenta con un alto potencial para expandir la superficie plantada. De acuerdo a EMBRAPA, citado por IICA-Brasil, existe un área de 69,9 millones de hectáreas con alta/media aptitud para el cultivo de palma en áreas de floresta amazónica degradadas. Considerando los rendimientos actuales, cubrir la demanda doméstica de B3 exclusivamente con biodiesel de palma requeriría de alrededor de 560.000 hectáreas, mientras que en el caso específico de las regiones Norte y Nordeste se requeriría de alrededor de 135.000 hectáreas.

En Bolivia, de acuerdo al IBCE, la palma aceitera podría producirse en los departamentos de Beni, Pando, Cochabamba, Santa Cruz y norte de La Paz. El resto de los países de la región sur no cuenta con condiciones edafoclimáticas favorables para la producción de palma.

La palma aceitera como materia prima para la producción de biodiesel cuenta con diversas ventajas. Entre las usualmente citadas por la bibliografía pueden mencionarse las siguientes:

- Se trata de la oleaginosa perenne de mayor productividad y rendimiento de aceite por unidad de superficie, superando en 5 a 7 veces a oleaginosas de ciclo corto. Junto al cocotero, la palma aceitera es potencialmente el cultivo más eficiente en cuanto a la utilización del recurso tierra para la producción de biocombustibles.
- En determinados países de la región andina, especialmente en Colombia, se cuenta con experiencia, tanto agrícola como económica, que garantiza altos rendimientos y continuidad para la producción de aceites como materia prima para biodiesel.
- Desde el punto de vista tecnológico, tanto el manejo agrícola como la industrialización de los productos de la palma aceitera son técnicamente sencillos (CORPODIB). Como cultivo tropical perenne, la palma aceitera produce continuamente durante todo el año. (Mutert, 2006).
- A nivel internacional el aceite de palma tiene el precio más bajo del mercado de aceites vegetales, lo cual refleja el bajo costo de producción de la palma (según CORPODIB, 40% menos que el costo unitario de producción de otras oleaginosas).
- En línea con lo anterior, la investigación conducida en el cultivo se ha orientado a la producción y al manejo eficiente de nutrientes, lo que ha incrementado consistentemente los rendimientos de aceite, reduciendo significativamente los costos de producción (Mutert, 2006).
- Se trata de un cultivo intensivo en mano de obra, con alto impacto en la generación de empleo directo y potencial de inclusión social. Según EMPBRAPA la producción de palma genera un empleo directo cada 6 hectáreas, mientras que otros documentos (Corredor Ríos, 2005, citado por SNV) plantean un requerimiento de mano de obra de entre 6 (primer año de actividad) a 27 días hombre (séptimo año

⁴² Junto al ricino, la palma es una de las dos materias primas cuya utilización para la fabricación de biodiesel está sujeta a beneficios impositivos, en el marco del Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel de Brasil.

de actividad). En países como Colombia, el cultivo de la palma mediante la adopción de alianzas estratégicas ha permitido una mayor cohesión social y un mayor dinamismo intercultural entre los grandes, medianos y pequeños productores (IICA – Colombia).

- Desde el punto de vista de la eficiencia energética, al igual que en el caso de otros cultivos perennes, el balance energético del biodiesel de palma es significativamente superior al de las oleaginosas anuales (ver cuadro correspondiente en sección 9.3.2).
- Desde el punto de vista ambiental, más allá de los aristas negativas que se enuncian más abajo, la palma es considerada a priori como un cultivo ecológico, teniendo en cuenta que se trata de bosques protectores (ACUPALMA), que previenen la erosión (CORPODIB), en los cuales cohabitan diversas especies de flora y fauna (FEDEPALMA), y que, dado su gran potencial para absorber gas carbónico, el cultivo puede contribuir con reducciones de emisiones de carbono a través de la fijación de este elemento en la biomasa (CEPLAC).

Entre las limitantes y desventajas de la palma como materia prima para biodiesel, pueden mencionarse las siguientes:

- El bajo contenido de proteínas en el fruto y en la almendra de palma da lugar a que el contenido proteico del co-producto de la producción de aceite (la torta de palmiste) sea menor en cantidad y calidad al de la mayoría de las oleaginosas relevantes para la producción de biodiesel (S&T – BID, 2006). En este sentido, la palma es más ineficiente que otros cultivos como la soja en términos de producción conjunta de alimento y energía.
- Desde el punto de vista agrícola, la palma aceitera tiene altos requerimientos de nutrientes, con lo cual requiere de una alta inversión en fertilizantes, ya que sin el abono adecuado los rendimientos bajan notablemente (CORPODIB). La fertilización representa del 25 al 30% de los costos totales de producción en la etapa madura del cultivo (IICA – Colombia).
- Se trata de un cultivo sujeto a gran cantidad de plagas y enfermedades, las cuales reducen la calidad y cantidad del fruto cosechado y aumentan los costos de producción. Por ser un cultivo perenne, establecido en suelos cultivados con otras especies, se ve afectada por un alto número de microorganismos ya establecidos, que son favorecidos por las condiciones climáticas. En América, la palma de aceite es afectada por un mayor número de enfermedades que en otros países productores como Malasia y algunos de África, tales como la pudrición del cogollo, manchar anular y la marchites letal (IICA – Colombia).
- El ciclo agronómico de la palma, con menores rendimientos y menor producción comercial en los primeros años de la plantación, como también sus mayores niveles de requerimiento de inversión implican mayores exigencias de crédito y un mayor período de recupero de la inversión inicial en comparación con los cultivos de ciclo anual.
- Desde el punto de vista de sus propiedades químicas, el biodiesel de palma cuenta con ventajas desde el punto de vista de su alto valor de cetano y alta resistencia a la oxidación, pero su alto contenido de ácidos grasos saturados da lugar a un alto “punto nube” (del orden de 18°C), lo cual afecta negativamente su desempeño en climas fríos.
- En el caso específico de los países de la región sur, con la excepción de Brasil y Bolivia, el resto cuenta con ínfimas o nulas posibilidades de producir palma, debido a la falta de condiciones



edafoclimáticas para su cultivo. El caso de Argentina representa un ejemplo ilustrativo: el país se encuentra fuera del límite de mejor adaptación del cultivo de la palma (15° latitud norte y sur), no existen regiones libres de heladas invernales, impidiendo el cultivo de especies muy sensibles al frío, la media anual de los climas cálidos del país (20°C) se encuentra algo por debajo del mínimo de los requerimientos de temperatura necesarios para un óptimo desarrollo, y, si bien cuenta con una zona de clima sub-tropical, en la misma predominan suelos cuyas características hacen que la palma no pueda instalarse adecuadamente (García Penela, 2007).

- Algunos países de la región andina (Venezuela y Perú), junto con Brasil, aún mantienen altos coeficientes de importación de aceite de palma. Ello requiere, como primer paso, aumentos de la producción de aceite lo suficientemente elevados como para no afectar la disponibilidad para alimentación humana o como para evitar importarlo con su consecuente impacto en los costos de producción. Vale destacar que en el caso de Brasil, la principal firma productora de aceite y biodiesel de palma obtiene el biocombustible a partir del residuo del refinado del aceite.
- Más allá de ser considerado un cultivo ecológico, el monocultivo de palma representa riesgos en términos de presión sobre la biodiversidad y deforestación, dado que podría incentivar la pérdida de bosques tropicales. En casos de destrucción de zonas boscosas también sería cuestionable la reducción de emisiones debido al carbono que deja de ser secuestrado por esos bosques. Sin embargo, si los nuevos cultivos de palma se hacen en tierras degradadas o no ocupadas, habrá un efecto positivo en la reducción de emisiones (SNV).
- En relación con lo anterior, el biodiesel de palma está asociado negativamente al caso de Indonesia y Malasia, países en los cuales, de acuerdo a crecientes denuncias efectuadas por diversas ONGs, la expansión del cultivo habría ocasionado la deforestación de grandes áreas de bosques tropicales⁴³. En este sentido, desde el punto de vista comercial, el biodiesel de palma presenta el riesgo de sufrir restricciones de importación y uso en el mercado de la UE (principal importador mundial de biodiesel) una vez que entren vigencia los mecanismos de certificación de sustentabilidad de producción de materias primas para biocombustibles, al menos en el caso de la producción proveniente de los países del sudeste asiático.

⁴³ Incluso el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), en su Informe de Desarrollo Humano 2007-2008, dedicado al cambio climático, advirtió que “Los cultivos crecientes de palma en Asia-Pacífico se han vinculado con la vasta deforestación y la violación de los derechos humanos de pueblos indígenas”.

9.2.3.2 Materias primas alternativas

Colza / Colza / Rapeseed

Cultivo	Colza / Canola (<i>Brassica napus</i>)
Características	<p>La colza es una planta herbácea anual perteneciente a la familia de las crucíferas, género <i>Brassicac</i>, probablemente originaria de Europa y Asia. Se trata de un cultivo de ciclo invierno-primaveral, que se adapta a climas de templados a templado-fríos, con buena humedad ambiental. Es bastante resistente a las sequías prolongadas y, una vez lograda la roseta, es capaz de soportar muy bajas temperaturas (-15°C). Las heladas tempranas pueden afectar las primeras etapas del cultivo, ya que antes de alcanzar la fase de roseta la sensibilidad al frío es mayor, no soportando temperaturas menores a -2 ó -3°C. La colza se adapta muy bien a distintos tipos de suelos con aptitud agrícola, pero se desarrolla mejor en suelos francos, de mediana a alta fertilidad, y sobretodo permeables, ya que es muy sensible a los anegamientos superficiales. El cultivo de colza es un gran consumidor de elementos nutrientes esenciales, como nitrógeno, fósforo, potasio y azufre y necesita una fertilización balanceada de los mismos. La colza produce una semilla pequeña y redonda, de color negro, marrón o amarillo, de alto contenido de aceite. Existen dos tipos de colza, la colza de invierno y la de primavera, las cuales están diferenciadas por sus requerimientos de vernalización. A su vez, pueden distinguirse entre las variedades de colza más antiguas, que generan un aceite con alto contenido de ácido erúxico (50-55 %) sobre la composición total de ácidos grasos en su materia grasa, el cual es no deseable desde el punto de vista nutricional y las variedades mejoradas (colza "00" o canola), caracterizadas por poseer un bajo contenido de ácido erúxico (máximo 2%) y un bajo contenido de glucosinolatos en grano. El aceite con bajo contenido de ácido erúxico se utiliza como aceite comestible para ensaladas y para cocinar, así como para hacer margarinas. Los aceites de alto contenido de ácido erúxico se utilizan como lubricantes y para la síntesis de plásticos. (Chacra Exp. Int. Barrow, INTA, FAUBA).</p>
Requerimiento de agua	350-450 mm
Contenido de aceite	40% - 50%
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	465
Subproductos / co-productos de su utilización para biocombustible	Torta de aceite de semilla de colza: se trata de un residuo proveniente de la extracción del aceite de las semillas. Esta harina de extracción posee un alto contenido de proteína (36-44%) de alto valor nutricional, utilizándose como suplemento proteico en raciones para animales. Del proceso de producción de biodiesel se obtiene glicerina. Por tratarse de una melífera, la colza también presenta la opción de producir miel.
Rendimiento agrícola (tn/ha)	1,64 (media mundial)
Promedio región (ponderado)	1,57
Países con mayor rendimiento	Chile (3,78), Brasil (1,70)
Potencial	4 (rendimientos obtenidos en Argentina con cultivares de difusión actual en parcelas experimentales a campo)
Rendimiento biodiesel x ha (lts/ha)	732
Con rendimiento agrícola medio regional	763
En países de mayor rendimiento agrícola	791-1.798
Potencial	1.860

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; FAO Water Development and Management Unit y fuentes varias.

Tabla 9.2.3.17: Colza en América del Sur – Estadísticas productivas y comerciales

2007		Región Sur						Región Andina				Total	
Cultivo	Variable/País	Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)		
Colza / Canola	Área cultivada (hectáreas)	46.000	10.531	n.d.	57.370	0	11.490	0	0	0	0	125.391	
	Producción agrícola (toneladas)	78.000	11.230	n.d.	62.158	0	43.399	0	0	0	0	194.787	
	Rendimiento agrícola (tn/ha)	1,70	1,25	n.d.	1,08	0	3,78	0	0	0	0	1,57	
	Comercio Exterior* (toneladas)	Exportaciones	2	11.849	58	26.320	0	1.941	0	0	0	0	40.170
		Importaciones	17.668	106	0	226	1	45	11	959	1	345	19.362
	Producción de aceite**(toneladas)	30.000	61	n.d.	13.000	0	21.000	n.d.	30	n.d.	n.d.	64.091	
	Comercio Exterior Aceite (tn)	Exportaciones	522	4	150	18.459	0	1.261	0	1	0	0	20.396
		Importaciones	11.659	1.151	54	1	0	137	1.320	3.012	232	361	17.926
	Producción de harina de colza/canola	n.d.	100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	100

(1) Fuente: FAO/STAT. El dato de área corresponde a la superficie cosechada.

(2) Fuente: Sapgya

(3) Fuente: -

(4) Fuente: DGP/MAG

(5) Fuente: -

(6) Fuente: Oficina de Estudios y Política Agropecuarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura -Gobierno de Chile-.

(7) Fuente: -

(8) Fuente: -

(9) Fuente: -

(10) Fuente: -

*Fuente: UN Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007

**Fuente: FAO/STAT (2) Sapgya

La colza-canola constituye un cultivo marginal en la estructura productiva actual de granos y oleaginosas en Sudamérica. El área cultivada con colza-canola en el ciclo 2006/07 representó alrededor de 125.000 hectáreas, con una producción agrícola del orden de las 195.000 toneladas y de aceite de alrededor de 64.000 toneladas. La producción de grano y aceite de colza-canola se concentra en los países de la Región Sur, siendo Brasil, Paraguay y Chile los principales productores. El rendimiento agrícola promedio de la región se encuentra por debajo de la media mundial, aunque vale señalar el rendimiento medio obtenido por Chile, que se encuentra entre los más altos del mundo.

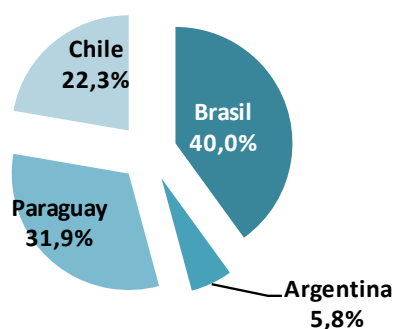
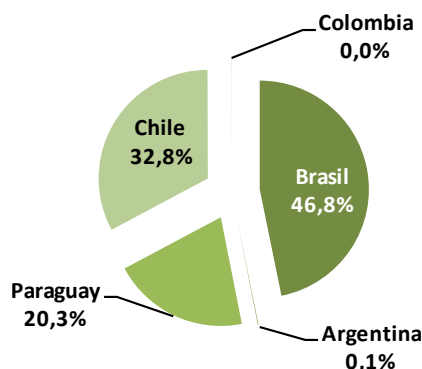
Gráfico 9.2.3.18: Colza, participación en la producción por países


Gráfico 9.2.3.19: Aceite de colza, participación en la producción por países


Si bien el área cultivada con colza-canola en la región Sur es muy pequeña en relación a la utilizada a nivel mundial, la región cuenta con condiciones edafoclimáticas muy apropiadas para su cultivo, incluso dentro del sistema de rotación con otros cultivos, como el trigo. También es elevado el potencial para obtener mayores rendimientos, como lo reflejan experiencias en los países de la región, en las cuales el paulatino perfeccionamiento de las tecnologías y la familiarización de los productores con el cultivo, van contribuyendo decisivamente a elevar los rendimientos.

En Brasil, principal productor de la región, la colza-canola se cultiva en los estados de Río Grande do Sul, Paraná y Goiás, y se registra una tendencia creciente en el área cultivada. Brasil cuenta con gran disponibilidad de áreas adecuadas al cultivo de la canola en estados de la región sur del país, como Río Grande do Sul, que podrían permitir una expansión significativa en la producción de aceite, generando incluso saldos exportables que podrían utilizarse en la producción de biodiesel. A su vez, Brasil se destaca por ser pionero en la introducción de canola en bajas latitudes (17° a 18°, en la región del Centro-Oeste), una experiencia inédita a nivel mundial que supone la “tropicalización” del cultivo y que se ha logrado a partir de genotipos menos sensibles al foto-período (EMBRAPA)⁴⁴. Al respecto, se han desarrollado experimentos exitosos y la introducción del cultivo comercial en Goiás y en Minas Gerais, demostrando que la canola cuenta con gran potencial para adecuarse perfectamente como cultivo de rotación en los sistemas de producción de granos del Centro-Oeste (Tomm, 2007). También se cuenta con experiencia en investigación sobre producción y uso del aceite como biocombustible, iniciada en la década del 80, interrumpida la de los 90 y retomada a fines de dicha década.

En Chile, la colza-canola constituye la oleaginosa de mayor disponibilidad inmediata para la producción de biodiesel. Además, la producción chilena de colza-canola cuenta con algunos factores que la sitúan por encima de otros cultivos en términos de competitividad: material genético adecuado y adaptado a las distintas zonas de cultivo; altos rendimientos por hectárea; especialización de los agricultores en el cultivo; agroindustrias funcionando en las áreas de cultivo; relación contractual de las empresas con los productores y poder de compra de los productos y subproductos; e investigación asociada desde hace años respecto de la colza-canola como materia prima para biodiesel (IICA-REDPA-CAS, 2008). De acuerdo a ODEPA, Chile cuenta con una superficie máxima disponible para la producción de colza-canola de 235.000 hectáreas, que generaría una producción de biodiesel suficiente para cumplir un eventual requerimiento de sustitución del 5%

⁴⁴ Sumado a este avance genético, se desarrolla la estrategia de compensar parcialmente la baja latitud escogiendo regiones con altitudes preferencialmente por encima de 600 metros, para que las temperaturas, especialmente las nocturnas, sean más amenas para el cultivo (Tomm, 2007).

de gasoil por biodiesel en 2010. A través de este cultivo sería posible dinamizar la agricultura de las regiones VIII, IX y X.

En Paraguay, actualmente tercer productor de la región, la colza-canola también registra una tendencia creciente en el área cultivada, que se duplicó entre 2004 y 2007. Toda la producción paraguaya se destina al mercado externo en forma de grano, harina o aceite. De hecho, Paraguay fue el único país de la región exportador neto aceite de colza-canola en 2007.

En Argentina, la colza-canola llegó a ocupar alrededor de 50.000 hectáreas a comienzos de la década del 90. En lo que va de la presente década, el área cultivada ha tenido altibajos, aunque nunca ha superado las 20.000 hectáreas. En la actualidad se cultiva principalmente en sur de la Provincia de Buenos Aires. No obstante, Argentina cuenta con una gran disponibilidad de áreas potencialmente aptas para el cultivo, tanto de colzas de invierno como de primavera. Actualmente se desarrollan ensayos en las provincias de Mendoza, Santiago del Estero, Río Negro, San Luis, Buenos Aires y Entre Ríos. De acuerdo a la SAGPyA, la colza-canola constituye una alternativa de diversificación para enriquecer el esquema de rotación en la región triguera argentina, fundamentalmente en el centro sur, sudeste y sudoeste de Buenos Aires y este de La Pampa, zonas en las que durante el invierno sólo se cultiva trigo y cebada y, además, por su mayor rusticidad, puede rendir bien en suelos menos aptos para estos cereales, y en siembras tempranas o intermedias, permitiendo la realización de cultivos de segunda e introduciendo una variante a la rotación actual, limitada a trigo-girasol. A su vez, existe un creciente interés de empresas procesadoras y exportadoras de colza-canola que ofrecen a los productores contratos de siembra con precio y entrega asegurados. También se cuenta en la actualidad con un mayor grupo de variedades que en ciclos anteriores, desde materiales invernales (con ciclo largo y requerimientos importantes de frío) hasta variedades primaverales de ciclo muy corto. En 2007, la Federación Agraria Argentina (FAA) inauguró una planta de biodiesel a partir de colza en la provincia de Santa Fe. Esta planta forma parte del proyecto BIOFAA, iniciativa de la FAA que apunta a que los pequeños y medianos productores agropecuarios logren el autoconsumo, produciendo su propio combustible y su propia harina proteica⁴⁵.

En Uruguay, desde 2004 el cultivo de colza está ganando lentamente un lugar en los sistemas de rotación con los cultivos de gramíneas de invierno. Si bien no se cuenta con datos oficiales, de acuerdo a estimaciones privadas el área cultivada con colza rondaría las 3000 hectáreas. Al igual que en el resto de los países de la región, el interés por el cultivo es elevado. Dadas las potencialidades descritas más abajo, está en marcha el proyecto de investigación científica y/o de desarrollo tecnológico con enfoque de cadenas denominado “Biocombustibles líquidos a partir de cultivos no tradicionales en el Uruguay”, que se propone estudiar los aspectos agronómicos de la producción de colza/canola (también de ricino) para la elaboración de biodiesel en diferentes regiones del país dependiendo de las condiciones agroecológicas⁴⁶.

En Bolivia, pese a que no se dispone de experiencias significativas de producción de colza a escala comercial, los departamentos de Chuquisaca, La Paz, Oruro, Potosí, Tarija y Santa Cruz cuentan con potencialidades para su cultivo.

A pesar del desarrollo de variedades de colza que pueden cultivarse con facilidad en climas tropicales, en países de la región andina como Colombia, Ecuador y Venezuela, no se registran antecedentes relevantes de

⁴⁵ Los productores que participan del proyecto destinarían el 10% de su campo, que durante el invierno está desocupado, al cultivo de colza (en contraestación con respecto a soja), cuya producción se derivaría a la planta de biodiesel, que les proveería del biocombustible y de la harina obtenida en el proceso de producción de aceite.

⁴⁶ Participan de dicho proyecto el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (UDELAR), la Facultad de Química/UDELAR, la Facultad de Ingeniería/UDELAR y la Facultad de Ciencias/UDELAR.

producción agrícola y explotación del cultivo para uso industrial. En Perú, el programa promocional “Sierra Exportadora”, desarrollado por el Gobierno, tiene como meta desarrollar 300.000 hectáreas de colza en 5 años, habiéndose identificado ya 200.000 hectáreas potenciales (en Puno, Junín, Cajamarca, Piura y Arequipa) para su desarrollo en secano y sobre 2800 metros sobre el nivel del mar (CEPAL, 2008).

Entre las materias primas alternativas para la producción de biodiesel, la colza-canola se presenta como una de las opciones más valoradas y promisorias, al menos en los países de la región Sur, presentando ventajas, tales como:

- Su adaptabilidad a una gran diversidad de condiciones de suelo y clima y el alto potencial de superficie con aptitud para su cultivo en varios países de la región.
- Su capacidad de adaptabilidad y desarrollo en climas templados o fríos la convierte en una de las mejores alternativas para la diversificación de los cultivos de invierno, brindando la posibilidad del doble cultivo colza-soja.
- En línea con lo anterior, el cultivo de colza-canola posee gran valor socioeconómico al posibilitar la producción de aceites vegetales en el invierno, sumándose a la producción de soja en el verano y contribuyendo así a optimizar los medios de producción disponibles (tierra, equipamientos y mano de obra) (EMBRAPA TRIGO).
- Es un cultivo resistente a las sequías prolongadas y logra una muy buena recuperación una vez que dicha situación se revierte. (IICA-Colombia). Posee relativamente bajos requerimientos de agua, por lo que brinda la posibilidad de producirse en zonas menos aptas para el cultivo de otros cereales y oleaginosas.
- Por tratarse de un cultivo de rotación, se estaría seleccionando una alternativa que aporta a la sustentabilidad medioambiental de la producción agrícola. Su introducción en la rotación permitiría un mejor control de enfermedades en los cereales de invierno, protección del ambiente, reducción del uso de agroquímicos y aumento de la riqueza orgánica de los suelos, entre otros beneficios⁴⁷.
- Se destaca por alto contenido de aceite en grano (40% a 50%) y rendimiento potencial de biodiesel por hectárea, superior al de otras oleaginosas de ciclo anual, entre ellas la soja.
- La elevada calidad química de su aceite, dada por el alto contenido de ácidos grasos mono-insaturados (que da lugar a un biodiesel de calidad óptima) y el bajo contenido de ácidos grasos saturados (genera un biodiesel de mejor desempeño en climas fríos con respecto al de soja o girasol) y poli-insaturados (da lugar a una menor tendencia a la oxidación y polimerización, elementos que determinan la formación de ácidos corrosivos)⁴⁸.
- El biodiesel elaborado a partir de colza presenta un menor riesgo comercial a nivel internacional que el de otras materias primas: en la UE, potencialmente el mayor importador mundial de biodiesel, la materia prima disponible y utilizada para producir biodiesel es la colza, y la norma que establece el

⁴⁷ Véase la Sección 9.4.2 para un mayor detalle de los beneficios medioambientales de la rotación de cultivos.

⁴⁸ El bajo contenido de ácidos grasos poli-insaturados se traduce en Índice de Yodo (113) que se ajusta perfectamente a los requisitos técnicos de la normativa europea (máximo de 120), a diferencia de los casos de otras materias como la soja (130) y el girasol (131) (UBA 2007). García Penela (2007), plantea que el aceite de colza, junto con los aceites de girasol alto oleico, cártamo alto oleico y olivo, son los que alcanzan la máxima ponderación en materia de calidad para biodiesel.

estándar europeo de calidad y las especificaciones del biodiesel (DIN EN 14214) están diseñadas para favorecer al aceite de colza y limitan a los aceites de soja y de palma⁴⁹.

- La harina de colza resultante de la extracción del aceite de la semilla de colza posee un alto valor nutricional con respecto a otros suplementos proteicos, constituyendo un producto de alta calidad que puede aportar significativamente a la rentabilidad de los proyectos basados en esta materia prima. La harina de colza ya tiene difundido uso en la alimentación animal, complementándose con otras harinas como la de soja en la elaboración de raciones para la producción de carne y leche. El contenido de fibra de la harina de colza es superior al de la harina de soja, lo que la hace apta para ser consumida por rumiantes (Canola Council, citado por UBA, 2006).
- La colza también es una especie melífera, con gran cantidad de flores, buena producción de miel y excelente calidad de polen, con un porcentaje de proteína que va desde el 20 al 27% (INTA-Ascasubi), con lo cual su cultivo presenta la opción de complementarse con la apicultura.

En términos generales, la colza ha enfrentado algunas restricciones que limitaron y/o aún limitan su desarrollo en la región, relacionadas principalmente con⁵⁰:

- Aspectos tecnológicos a superar, entre ellos: escasa información y conocimiento sobre manejo del cultivo (especialmente en sistemas de siembra directa), comportamiento y fertilización de cultivares; falta de conocimiento en aspectos como adaptabilidad genotípica, respuesta a los diferentes ambientes y requerimientos nutricionales, control de plagas y enfermedades; dificultades en el manejo del grano⁵¹ durante las operaciones de cosecha, transporte, secado y almacenaje; escasez de planes de mejoramiento locales. En general, la inversión en investigación con colza-canola en América del Sur ha sido altamente limitada, especialmente en la orientada al desarrollo de tecnologías de manejo adecuadas a las condiciones edafoclimáticas de cada región de cultivo.
- La colza tiene requerimientos nutricionales relativamente altos, para el caso del potasio y el azufre en particular, requiere más nitrógeno que girasol, y considerando la capacidad de la soja de fijar simbióticamente nitrógeno, la colza-canola tendría incluso mayores demandas de nitrógeno por suministro externo respecto de la soja (Gómez et al, 2007).
- Los bajos volúmenes de producción debido a la falta de estímulos al productor, ante otros cultivos más rentables.
- Históricamente, la industria aceitera en varios países de la región, ha demostrado poco interés para el procesamiento del grano y la producción de aceite de colza, justamente por los bajos volúmenes de producción del cultivo.
- Dificultades de comercialización, debido a la presencia de pocos puntos de recibo de la producción de colza.

⁴⁹ La limitante para el aceite de soja surge en el nivel establecido para el índice de yodo, que mide la estabilidad del combustible a la oxidación y producción de depósitos sólidos (el biodiesel de soja tiene un índice de 133 y la norma europea admite hasta 120); mientras que en el caso del aceite de palma la limitante está relacionada con la estabilidad de su biodiesel a bajas temperaturas. Es importante señalar que los requisitos técnicos establecidos por la norma europea pueden alcanzarse utilizando mezclas de diversos aceites para producir el biodiesel.

⁵⁰ Iriarte (2002 y 2006), Gómez et al (2007), SAGPyA, Tomm (2007), de la Fuente et al (UBA, 2006).

⁵¹ Por las características de la semilla (forma esférica y de tamaño minúsculo), y por la escasez de equipos recolectores adecuados a tal fin.

- ➡ El aceite de colza-canola cotiza usualmente a mayores precios que los aceites de disponibilidad inmediata en la región (soja, palma y girasol)⁵², lo cual lo hace menos competitivo para su utilización para la producción de biodiesel.

Ricino/Mamona/Castor

Cultivo	Ricino - Mamona - Higuierilla (<i>Ricinus communis</i>)
Características	<p>El ricino, también conocido higuierilla o tártago, es un arbusto perteneciente a la familia de las Euforbiáceas, originario de África o de la India y cultivado actualmente en diversos países del mundo. El ricino es una especie cortamente perenne (12 años aproximadamente), por lo que se la puede manejar como tal o como un cultivo anual, dependiendo del ambiente y del sistema de producción. Se caracteriza por su amplia adaptación. Se encuentra distribuido en países tropicales, subtropicales y templados, y es explotado comercialmente desde el ecuador hasta latitudes de 40° norte y 40° sur. Puede encontrarse ricino en altitudes que van desde el nivel del mar hasta 2300 metros, pero para la producción comercial se recomienda el cultivo en altitudes entre 300 y 1500 metros sobre el nivel del mar. Se adapta a regiones áridas y semiáridas, siendo su resistencia a la sequía una de sus características más destacadas. La temperatura ideal para su cultivo oscila entre 20 y 30°C, la planta no soporta heladas y su producción se ve afectada con temperaturas superiores a 38°C. Es una planta heliófila, por lo que debe ser sembrada a plena exposición solar (si se siembra a la sombra, su crecimiento y producción son perjudicados sensiblemente). La planta crece bien en suelos de mediana a alta fertilidad, profundos, sueltos, permeables, aireados, bien drenados, ni alcalinos ni salinos, con altas a medianas cantidades de nutrientes. Las semillas están contenidas en cápsulas (3 semillas/cápsula), que se disponen sobre un racimo. El ricino es una especie de elevada variabilidad fenotípica, que se manifiesta en muchos caracteres, entre ellos el porte de la planta (individuos arbóreos de hasta 12 m de altura y genotipos enanos de 1,2 m) y características de las semillas (color, tamaño y concentración de aceite). La semilla del ricino, como otras partes de la planta, posee sustancias de diferente naturaleza que son venenosas y/o alergénicas para los humanos y animales. El principal producto del ricino es el aceite extraído de sus semillas, el cual posee características químicas que lo califican como el único de su naturaleza. Está compuesto casi exclusivamente (87% a 91%) de un único ácido graso (ácido ricinoleico) que contiene un radical hidroxilo que lo hace soluble en alcohol a baja temperatura, es muy viscoso y con propiedades físicas especiales. El aceite de ricino es usado en la industria en más de 180 aplicaciones tecnológicas, entre las que destacan: fabricación de lubricantes de alta calidad para aeronáutica y maquinaria pesada, jabones cosméticos, pinturas y barnices, secantes, tintes de textiles, fibras tipo poliéster, aluminado, preservación de cuero, entre otros, y en medicina como purgante (CENIAT, EMBRAPA, SNV, Wassner 2007, Lobato et al 2007).</p>
Requerimiento de agua	Si bien es un cultivo resistente a sequías durante períodos prolongados, éstas afectan el peso y el contenido de aceite de las semillas. Se considera deseable una precipitación mínima de 500 mm a 600 mm. Una mayor precipitación o el uso de irrigación aumentan la productividad.
Contenido de aceite	35%-55%. El porcentaje de aceite depende mucho de la variedad de las semillas y de las condiciones del cultivo (agua, fertilizantes, etc.). (SNV)
Eficiencia de la conversión a biocombustible (lts/tn)	485
Subproductos /co-productos de su utilización para biocombustible	Los derivados del aceite de ricino constituyen ingredientes claves para las síntesis de fluidos hidráulicos, grasas y lubricantes de equipos mecánicos. La torta de las semillas obtenida del proceso de extracción del aceite (0,42 a 0,95 tn/ha) no se puede emplear como alimento animal, a menos que se le extraiga el componente tóxico, por lo que su principal uso es como fertilizante. La torta contiene alrededor de 20,5% de proteína un 6,6% de nitrógeno, y también se puede utilizar para la generación de biogás. La cáscara se puede utilizar como combustible para la generación de calor en calderas, fabricación de pellets u otros. Del proceso de producción de biodiesel se obtiene glicerina. (SNV, CENIAP).
Rendimiento agrícola (tn/ha)	0,94 (media mundial).

⁵² El aceite de canola, junto con el de oliva, es considerado como uno de los mejores para la alimentación humana, por su contribución a la baja formación de colesterol en la sangre.

Promedio región (ponderado)	0,74
Países con mayor rendimiento	Ecuador (1,6), Paraguay (1,0)
Potencial	Un buen rendimiento del cultivo es de 1,5 a 1,8 tn/ha, con irrigación o precipitaciones superiores a 600 mm. Se han obtenido rendimientos de 5 tn/ha en condiciones experimentales.
Rendimiento biodiesel x ha (lts/ha)	456
Con rendimiento agrícola medio regional	361
En países de mayor rendimiento agrícola	485-776
Potencial	873-2.425

Fuente: Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; y fuentes varias.

Tabla 9.2.3.20: Ricino en América del Sur – Estadísticas productivas y comerciales

2007		Región Sur						Región Andina				Total	
Cultivo	Variable/País	Brasil (1)	Argentina (2)	Uruguay (3)	Paraguay (4)	Bolivia (5)	Chile (6)	Venezuela (7)	Colombia (8)	Ecuador (9)	Perú (10)		
Tartágo / Ricino	Área cultivada (hectareas)	209.000	n.d.	n.d.	8.500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.400	n.d.	218.900	
	Producción agrícola (toneladas)	152.000	n.d.	n.d.	8.500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.250	n.d.	162.750	
	Rendimiento agrícola (tn/ha)	0,73	n.d.	n.d.	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,60	n.d.	0,74	
	Comercio Exterior* de tartágo (toneladas)	Exportaciones	27	0	0	6.284	0	0	0	0	0	0	6.311
		Importaciones	6.416	n.d.	n.d.	0	125	0	0	0	700	0	7.241
	Producción de Aceite	52.000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Comercio Exterior** de aceite de ricino (toneladas)	Exportaciones	146	11	0	231	97	0	0	7	314	0	806
		Importaciones	3.738	403	25	400	6	86	18	529	242	62	5.508

(1) Fuente: MAPA. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada. Oil World: Producción de aceite de ricino (último dato disponible: 2006).

(2) Fuente: -

(3) Fuente: -

(4) Fuente: DGP/MAG

(5) Fuente: -

(6) Fuente: -

(7) Fuente: -

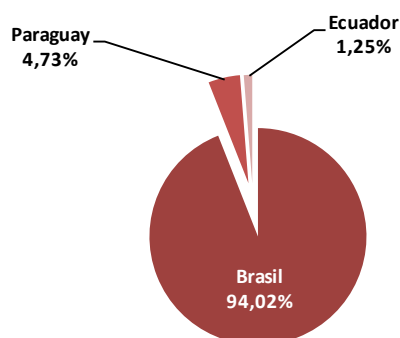
(8) Fuente: -

(9) Fuente: FAO 2007. El dato de área sembrada corresponde en este caso a área cosechada.

(10) Fuente: -

*Fuente: UN Comtrade. Hs 2002. Estadística 2006.

**Fuente: UN Comtrade. Hs 2002. Estadística 2007.

Gráfico 9.2.3.21: Ricino: participación en la producción por países


La producción de ricino y de aceite de ricino tiene una participación marginal en la producción de los complejos oleaginosos, tanto a nivel mundial como en Sudamérica. En ambos casos, en general, el cultivo ha sido manejado con sistemas de bajo nivel tecnológico y en zonas agroecológicas marginales, con niveles de productividad que se encuentran muy por debajo de su potencial productivo.

Brasil es el principal productor de ricino de la región, destacándose además por ser el tercer productor mundial, detrás de India y China. A nivel regional, le siguen en orden de importancia Paraguay y Ecuador, este último con los rendimientos más altos. En el resto de los países la producción de ricino es marginal y no se dispone de estadísticas oficiales. Todos los países de la región cuentan con potencialidad para la producción de esta oleaginosa.

Con respecto a Brasil, su producción actual está bastante por debajo de las 400.000 toneladas producidas a mediados de la década del 80, período en el que llegó a ser el principal productor mundial de ricino y de aceite de ricino. El ricino ha sido señalado como una de las pocas opciones agrícolas rentables para las regiones árida y semiárida de la región Nordeste, la más pobre del país y la que concentra alrededor del 90% de la producción brasileña⁵³. Teniendo en cuenta este aspecto y su alto impacto en la generación de empleo, el ricino es junto a la palma, la materia prima más promocionada por el Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel. De acuerdo a un zoneamiento agro ecológico realizado por EMBRAPA, 458 municipios del Nordeste cuentan con aptitud para la siembra de ricino, con lo cual cerca de 4,5 millones de hectáreas estarían disponibles para su cultivo en condiciones de secano. Los rendimientos agrícolas estuvieron históricamente por debajo de las 0,6 tn/ha, aunque desde comienzos de la presente década se registra una tendencia creciente, alcanzándose un récord de casi 1 tn/ha en 2004/05. A pesar de la concentración en la región Nordeste, los mayores rendimientos se observan en realidad en los estados del Centro-Sur (alrededor de 1,5 tn/ha), aunque en estos casos la producción es insignificante. EMBRAPA ha desarrollado en los últimos años variedades con contenido de aceite de 48%-49% y potencial de rendimiento de 1,5 tn/ha (en condiciones normales, con fertilidad de suelo mediana, altitud superior a 300 m, tratos culturales adecuados y por lo menos 500 mm de lluvia), algunas de las cuales están adaptadas para la agricultura familiar de la región Nordeste. Hacia el ciclo 2005-06 Brasil contaba con una capacidad instalada de procesamiento del orden de 160.000 toneladas anuales.

En Paraguay, segundo productor de la región, la producción se concentra principalmente en la región oriental, destacándose los departamentos de Concepción y San Pedro como principales productores. El cultivo obtiene buenos rendimientos en zonas como Canendiyú, donde se han obtenido registros de 1,5 tn/ha, Concepción,

⁵³ En el interior del Nordeste, habitado por pequeños agricultores de bajos ingresos y con altos niveles de pobreza, el ricino es obtenido mayoritariamente en pequeñas explotaciones de hasta 15 hectáreas.

Amambay y Cordillera, entre otros. En todas las zonas del país el ricino es cultivado por pequeños agricultores que utilizan su propia semilla, sin tener los cultivos una identidad genética por el continuo cruzamiento entre las numerosas variedades existentes y cultivadas (MAG, 2007). Ya existen algunos proyectos de biodiesel que prevén utilizar aceite de ricino entre sus materias primas, como así también iniciativas público-privadas que promueven este cultivo⁵⁴.

En Argentina su producción ha sido históricamente marginal y se lo dejó de cultivar a partir de 1989, dando lugar a que el país se convierta en importador neto de su aceite (Wassner, 2007). Más recientemente, desde mediados de la década del 90, se realizaron diferentes intentos para desarrollar el negocio del ricino, los cuales no han prosperado en general por falta de una acción coordinada que resuelva todos los componentes de la cadena de producción (Wassner, 2007)⁵⁵. En las provincias de Misiones, Formosa, Chaco y Salta se han realizado ensayos de cultivo de ricino, con el objeto de determinar el cultivar que mejor se adapte a las condiciones ambientales locales y luego producir aceite de ricino. En Chile, el ricino cuenta con antecedentes de estudios nacionales, aunque sólo se mantiene como un cultivo espontáneo, natural y marginal en numerosas regiones del país (REDPA, 2008). En Uruguay no se han reportado prácticas de cultivo comercial de ricino, aunque se conocen experiencias aisladas realizadas por productores agropecuarios innovadores, a instancias individuales y con el fin de demostrar la factibilidad del cultivo (Lobato, 2007). En Bolivia, los departamentos de Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz cuentan con potencialidades para su cultivo.

En Venezuela, se produce una pequeña cantidad de ricino, no reportada en las estadísticas nacionales. En Curarigua, estado de Lara, existe una comunidad de productores que lo siembra asociado a otros cultivos y procesa el producto de manera artesanal para la obtención del aceite, el cual comercializan para uso medicinal; también se conocen pequeños sembradíos en los estados de Cojedes y Guárico. Los productores de Curarigua siembran desde hace más de 40 años dos variedades locales, caracterizadas por ser materiales oriundos de la región poco productivos (Mazzani, 2007). El INICA-CENIAP está sometiendo estas variedades a un proceso de depuración, selección y autofecundación de los tipos promisorios, con fines de uniformizar y mejorar sus características agronómicas y de rendimiento. Igualmente, estos materiales fueron incorporados en cruces de un programa de mejoramiento genético del cultivo, en proceso de ejecución (Mazzani, 2007).

En Perú, también se cuenta con antecedentes de producción de ricino, el cual no es apto en la sierra central, pero sí constituye una alternativa para la selva y zonas con menos altitud. El INIA, DEVIDA y otros institutos de investigación, con la asistencia técnica de EMBRAPA, están desarrollando parcelas de experimentación, en el marco de un proyecto de promoción del ricino en la Amazonia Peruana para la producción de biodiesel. En Colombia, el ricino crece en condiciones semi-silvestres, de manera espontánea, desde el nivel del mar hasta 2.600 metros. En este país se encuentra en marcha un proyecto de evaluación de cultivares foráneos y generación de variedades colombianas para la producción de biodiesel y otros usos de la industria y existe también un convenio con EMBRAPA para la concesión de materiales mejorados genéticamente en Brasil para su evaluación en diferentes partes de Colombia. En Ecuador, el ricino ha sido un cultivo tradicional de los pequeños productores, cultivándose en Manabí, Esmeraldas, Guayas y El Oro.

El interés existente en la región y en otros países del mundo por el desarrollo y utilización del ricino como materia prima para biodiesel está relacionado con diversos aspectos positivos, entre ellos:

⁵⁴ Por ejemplo, la petrolera estatal PETROPAR está produciendo en forma experimental el biodiesel a base de ricino, para utilización en su flota de vehículos, y la Gobernación de Paraguari lanzó un proyecto en el cual se compromete a garantizar su cultivo en la zona distribuyendo a los agricultores semillas en forma gratuita, al tiempo que una entidad aceitera se compromete a adquirir a precio de mercado la totalidad del producto generado desde esta parte del país.

⁵⁵ No se dispone de estadísticas oficiales sobre la producción de ricino en Argentina. De acuerdo al Gobierno del Chaco, dicha provincia lidera la producción argentina, con 4500 ha cultivadas a comienzos de 2009. De acuerdo a Wassner (2007), la provincia de Misiones, a partir de un programa de promoción del cultivo lanzado en 2004, alcanzó una superficie de 4000 ha en 2006.

- Su adaptabilidad a diferentes ambientes, producto de su gran rusticidad y resistencia a la sequía, le otorga aptitud para crecer en condiciones de clima sub-húmedo y semiárido, constituyendo una alternativa para incorporar tierras marginales no aptas para cultivos más exigentes, con lo cual no competiría con la producción de cultivos alimenticios y/o podría fomentar el desarrollo local en economías regionales postergadas.
- Posee simplicidad en su manejo y bajos requerimientos de insumos y de cuidados culturales.
- Es considerado un cultivo social, debido a que es intensivo en mano de obra, con potencialidad para ser desarrollado por la agricultura familiar y generalmente producido por pequeños agricultores en los países de la región al permitir una menor escala de producción.
- Algunos aspectos favorables para el eslabón agrícola de la cadena están relacionados con el hecho de que el ricino es un cultivo de alto valor y multipropósito (con más de 180 aplicaciones tecnológicas a nivel industrial). Esto último supondría menores riesgos comerciales y/o de colocación del producto en caso de volatilidad en el mercado del biodiesel.
- Dada su toxicidad, el aceite resultante no es comestible. En este sentido su precio no está influenciado por la competencia con el uso alimentario.
- Puede desarrollarse integrado con otros cultivos y diversificar la producción. Por ejemplo, en el semiárido nordestino de Brasil, los pequeños productores plantan el ricino frecuentemente consorciado (intercalado) con cultivos alimentarios como el poroto, mientras que en Venezuela, la mayoría de las siembras se realizan en asociación con auyama, quinchoncho y otras leguminosas comestibles.
- Cuenta con un alto porcentaje de aceite en semilla y, en caso de reducirse la amplia brecha entre su rendimiento agrícola actual y potencial, daría lugar a un elevado rendimiento de biodiesel por hectárea.
- El biodiesel obtenido a partir del aceite de ricino presenta algunas propiedades altamente positivas: bajo índice de yodo, uno de los valores de cetano más altos entre los aceites vegetales y un punto de solidificación entre -12 y -18°C (lo cual le confiere una ventaja de desempeño positivo en climas fríos, frente a otras alternativas como el biodiesel de sebo o el de palma). Sin embargo, el aceite de ricino da lugar a un biodiesel de muy alta viscosidad, lo cual limita su utilización como biocombustible (ver a continuación).

Más allá de las ventajas y potencialidades mencionadas, el ricino se ha mantenido históricamente como un cultivo marginal y, pese a los esfuerzos públicos realizados en algunos países como Brasil, su utilización como materia prima para biodiesel ha sido hasta el momento relativamente ínfima. Ello tiene que ver con diversas limitantes, entre ellas:

- La experiencia limitada en el cultivo y su bajo nivel de desarrollo tecnológico, caracterizado por la reducida oferta y/o ausencia de genotipos mejorados en los países de la región (aspecto fundamental para incorporar nuevas áreas al cultivo y para aumentar rendimientos), falta de cosechadoras adaptadas, de herbicidas y de modelos de respuesta a la fertilización, utilización de semillas impropias (de bajo rendimiento medio y calidad, y altamente vulnerables a enfermedades y plagas), utilización de prácticas inadecuadas (época de siembra, rotación, espaciamiento) y escaso

conocimiento general sobre las bases eco fisiológicas implicadas en la generación del rendimiento (Ferreira dos Santos y Lemos Barros, 2003, citados por SAGPyA-IICA, 2005, Wassner, 2007).

- Relacionado con lo anterior, los rendimientos agrícolas obtenidos en la región son generalmente bajos, sustancialmente inferiores a lo que se considera un buen rendimiento (1,5-1,8 tn/ha), dando lugar a que el rendimiento en biodiesel por hectárea del ricino, bajo las condiciones actuales, sea muy bajo en comparación con su potencial y con el de otras materias primas, incluyendo a la soja.
- El alto costo de oportunidad y de producción que representa la alta cotización del aceite de ricino (usualmente por encima de 1000 US\$/tn), que en el mercado mundial ha estado históricamente muy por encima de la de los aceites de palma, soja, girasol, colza y otros aceites vegetales tradicionales, incluso superando al precio del biodiesel en varios mercados. Para contrarrestar los altos costos relativos que supone la producción de biodiesel utilizando aceite ricino, éste debería producirse en regiones alejadas de los puertos.
- Las cadenas de producción de ricino en los países de la región se han caracterizado por un bajo nivel de desarrollo e institucionalidad, con alto grado de desarticulación, desorganización del mercado interno, dificultades de comercialización y colocación del producto y, en algunos casos, bajos precios al productor agrícola, dando lugar, en muchas oportunidades, al abandono y reemplazo por otros cultivos teóricamente más riesgosos para los productores.
- La semilla del ricino, al igual que otras partes de la planta, posee sustancias venenosas y/o alergénicas para los humanos y animales, entre ellas la ricina, considerada como la proteína más venenosa conocida por el hombre (CENIAT). La misma se encuentra principalmente en la semilla y es tóxica para humanos, animales e insectos y es la principal responsable de la toxicidad de la torta, subproducto de la extracción de aceite. La toxicidad de la planta y de la semilla hace riesgosa su manipulación, mientras que la toxicidad de la torta limita o condiciona sustancialmente la rentabilidad de los proyectos de aceite o biodiesel basados en ricino⁵⁶.
- El aceite de ricino “in natura” es uno de los aceites vegetales con más alta viscosidad (100 veces más viscoso que el diesel). Si bien esta característica se reduce considerablemente en el proceso de transesterificación, el biodiesel de ricino aún posee elevada viscosidad por la presencia de ácido ricinoleico. Ello limita su utilización como biocombustible y su nivel de mezcla con diesel, requiriéndose la mezcla con otros aceites para cumplir con las especificaciones técnicas del biodiesel requeridas por las normativas de los países.

⁵⁶ En Brasil, la torta de ricino se utiliza como fertilizante por su capacidad de restauración de tierras agotadas, PETROBRAS está invirtiendo en investigación para descubrir nuevos usos y, en el marco de la Red Brasileña de Tecnología de Biodiesel, se desarrolla un proyecto destinado a eliminar su toxicidad, para posibilitar su utilización en alimentación animal, dado su alto contenido de proteínas. De acuerdo a TECBIO, citado por Lobato, el proceso de desintoxicación solo tiene sentido si se aplica a la harina resultante del proceso de extracción de aceite por solventes (la torta con un tenor de aceite inferior al 1%); la torta obtenida del proceso de extracción mecánico de aceite, aún desintoxicada no puede ser empleada como ración debido a su alto contenido del mismo (5%-8%).

Jatropha / Pinhao Manso / Physic Nut

Cultivo	<i>Jatropha (Jatropha Curcas L.)</i>
Características	<p>También conocido como piñón (manso, blanco, de leche o botija), coquito o tempate, el nombre "jatropha" es usualmente utilizado para referirse a la especie <i>jatropha curcas</i>, aunque existen alrededor de 170 especies conocidas de esta planta. La <i>jatropha</i> es un cultivo oleaginoso perenne de porte arbustivo perteneciente a la familia de las euforbiáceas. Oriunda de México y Centroamérica, se ha esparcido alrededor del mundo, aunque aún se mantiene como planta silvestre, con experiencias muy reducidas como cultivo comercial. Existen tres variedades de <i>jatropha curcas</i>: la nicaragüense, la mexicana (que se distingue por su semilla con toxicidad inferior o inocua) y la de Cabo Verde. Crece desde regiones tropicales muy secas hasta bosques lluviosos y en la mayoría de subtrópicos. De acuerdo a diversos estudios, la temperatura adecuada para el cultivo es entre 18 y 28,5°C y puede llegar a resistir heladas leves. Puede prosperar en bajas alturas (0 - 500 mts). Su ciclo productivo se extiende entre 35 a 50 años, es de crecimiento rápido con una altura normal de 2 a 3 metros y en condiciones especiales llega hasta 5m. Los suelos más aptos para la <i>jatropha</i> son los franco arenosos o arcillo arenosos livianos, ventilados y bien drenados; no tolera suelos inundables o pesados. Si bien se reporta que la planta cuenta con bajos requerimientos de nutrientes, las limitaciones en la fertilidad del suelo (especialmente a través de disponibilidad limitada de N, P y K en la zona radical) dificultan el crecimiento y la producción del cultivo. La parte que se cosecha de la <i>jatropha</i> es el fruto, que generalmente contiene tres semillas. Las semillas constituyen alrededor del 70% del peso total del fruto (el 30% restante es pulpa). El aceite se almacena en el interior de la semilla, en la almendra (que representa alrededor del 65% de la masa total de la semilla). La <i>jatropha</i> comienza a producir después de los 6 meses de sembrado y llega a su grado óptimo de producción a los 4-6 años. La planta es tóxica debido a que la semilla contiene curcina y alcaloides conocidos como ésteres de forbol, que provocan un efecto purgante. Debido a la toxicidad de las semillas, el aceite de <i>jatropha curcas</i> no es comestible y se utiliza tradicionalmente para aplicaciones medicinales y para fabricación de jabón, insecticidas y lubricantes. (SNV, 2008 / Jongschaap et al, 2007, Falasca y Ulberich, 2008 / FAO, 2008)</p>
Requerimiento de agua	Puede crecer con una precipitación anual entre 250 mm y 2000 mm. Sin embargo, se considera necesario un mínimo de 500-600 mm para la producción de frutos y un rango mínimo de 800-1000 mm y un máximo de 1200-1500 mm, bien distribuidos durante el año, para la producción en condiciones ideales. En condiciones de poca precipitación se puede utilizar irrigación (SNV, 2008/ Jongschaap et al, 2007)
Contenido de aceite en semilla	28% - 39%
Subproductos / co-productos de su utilización para biocombustible	La pulpa de la fruta, la cáscara de la semilla y la torta resultante de la extracción del aceite (que contiene 56% de proteínas), pueden ser utilizadas para fertilización orgánica o para la producción de más energía. Las cáscaras de las semillas pueden ser quemadas y junto con la pulpa del fruto pueden utilizarse como combustible para uso en calderas, en procesos que emplean calor como la misma producción de biodiesel. La torta y la pulpa de la fruta pueden utilizarse para la producción de biogás por fermentación anaeróbica. Por ser tóxica, la torta no puede utilizarse en alimentación animal. Del tallo de la <i>jatropha</i> se extrae el látex, y de sus hojas y cortezas otras distintas sustancias para aplicaciones medicinales, usos como insecticida, etc. Del proceso de producción de biodiesel se obtiene glicerina. (SNV, 2008/ Jongschaap et al, 2007).
Rendimiento agrícola (tn semilla seca/ha)	Debido a la variabilidad del rendimiento del cultivo en el tiempo y en diversos ambientes, y a que aún no existen métodos estandarizados del cultivo en el mundo, las estimaciones sobre los rendimientos son muy diversas. En base a resultados obtenidos por diversos autores la producción de semillas de una planta madura se ubicaría en el rango de 1,5 - 7,8 tn/ha (Jongschaap et al, 2007). En áreas semiáridas podrían obtenerse por lo menos de 2 a 3 toneladas de semilla por hectárea (Heller, J., 1996) o probablemente menos de 1 tonelada de semilla por hectárea en caso de crecimiento y producción con disponibilidad mínima de agua (500-600 mm/año) (Euler y Goriz, 2004, citados por Jongschaap et al). De acuerdo al Centro de Promoción de <i>Jatropha</i> y Biodiesel de la India, a partir del 5° año pueden obtenerse los siguientes rendimientos (en toneladas de semilla seca /ha): a) sin irrigación: bajo: 1,1; medio: 2; alto: 2,75; b) con irrigación: bajo: 5,25; medio: 8; alto: 12,5.
Potencial	2,75 (sin irrigación) - 12,5 (con irrigación), a partir del 5° año (Centro de Promoción de <i>Jatropha</i> y Biodiesel de la India)
Rendimiento biodiesel x ha (lts/ha)	450-2.290 (suponiendo rango de rendimiento agrícola de 1,5-7,8 tn/ha, 35% de contenido de aceite en semilla, 75% de eficiencia de extracción, densidad de aceite de 0,93 Kg./lt y merma del 4% en conversión a biodiesel)
Potencial	2.890 (suponiendo rendimiento agrícola con irrigación de 8 tn/ha, 35% de aceite en semilla, extracción de aceites por solvente (eficiencia: 100%), densidad de aceite de 0,93 Kg./lt y merma del 4% en conversión a biodiesel).

Fuente: *Elaboración propia; información obtenida por las oficinas del IICA de la región; y fuentes varias.*

Tabla 9.2.3.22: Composición en materia seca de los componentes de *Jatropha curcas*

	Humedad (%)	Materia seca (%)	Composición relativa (%)	Contenido de aceite (%)	Fuente
Madera	15	85	25		Openshaw, 2000
Hojas			25		Openshaw, 2000
Fruta	8	92	50		Openshaw, 2000
	23	77			Sirisomboom et al., 2007
Cobertura	85	15	30		Openshaw, 2000
	89	11			Sirisomboom et al., 2007
			26		Mattana Satunino et al., 2005
Semilla	3-7	93-97			Jones & Miller, 1992
				37,4	Kandpal & Mandan, 1995
	5	95	70		Openshaw, 2000
				33,0-39,1	Ginwal et al., 2004
			74		Mattana Satunino et al., 2005
Cáscara			34,7-41,6		Ginwal et al., 2004
			34,3-46,1		Makkar et al., 1997
	11	89			Vyas & Singh, 2007
	10	90	34,3		Openshaw, 2000
	10	90			Trabi, 1998
			37,6		Mattana Satunino et al., 2005
			29,9-31,9		Martinez Herrera et al, 2006
Almendra			58,4-65,3	46,2-58,1	Ginwal et al., 2004
			53,9-65,7		Makkar et al., 1997
			65,7		Openshaw, 2000
				46,0-48,6	Kandpal & Mandan, 1995
	3	97		48,5	Banerji et al., 1985
	3,1-5,8	94,2-96,9			Trabi, 1998
	2,2-11,3	88,7-97,8	68,1-70,0		Martínez Herrera et al, 2006
			62,4		Mattana Satunino et al., 2005
				21,0-74,0	Shah et al., 2005

Fuente: R.E.E. Jongschaap, W.J. Corré, P.S. Brindraban and W.A. Brandenburg (2007)

La *Jatropha*, es un cultivo oleaginoso perenne de porte arbustivo que, pese a sus muy escasos antecedentes de producción a escala comercial, ha despertado un muy elevado interés en la región y en el mundo.

El arbusto crece en forma silvestre en casi todos los países de la región. Su área de dispersión en Sudamérica abarca Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Venezuela, llegando a Argentina (Héller, 1996, citados por Falasca y Ulberich, 2008). A su vez, en los últimos años comenzó a cultivarse incipientemente en algunos países, en el marco de proyectos públicos de investigación y experimentación, proyectos privados con fines comerciales y proyectos mixtos. Por el momento, según se desprende de un



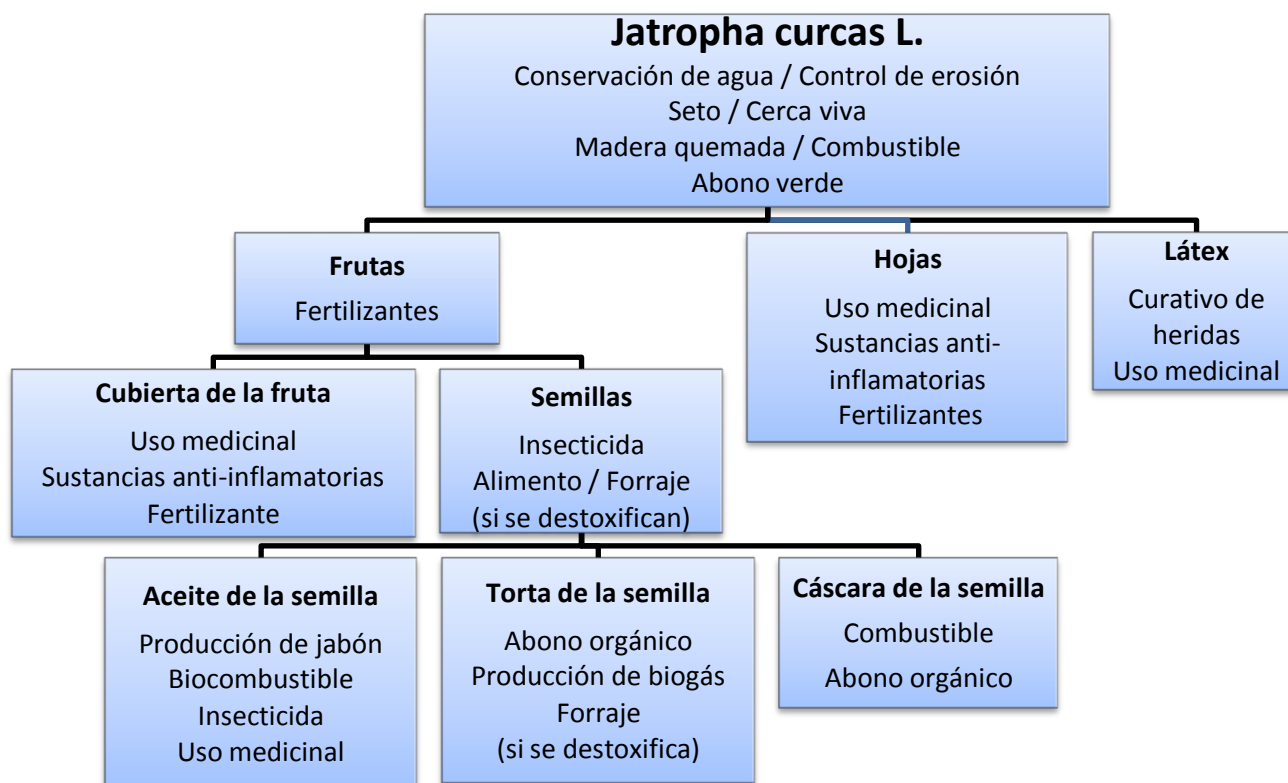
estudio de mercado global sobre la jatropha, más del 90% del área destinada a estos proyectos en Sudamérica estaría concentrada en Brasil (15.800 hectáreas).

El muy elevado interés por la jatropha como materia prima para la producción de biodiesel está relacionado con las múltiples ventajas que le han adjudicado diversos autores:

- Es un cultivo con baja exigencia en cuanto al tipo de suelo (se reporta que está adaptada a crecer en suelos salinos, arenosos y rocosos) y resistente a la escasez hídrica, lo cual lo hace adaptable a regiones semiáridas y cálidas. Al producirse en tierras marginales y suelos poco fértiles o erosionados, no competiría con tierras para la producción de alimentos o con bosques y podría ser desarrollado en economías regionales postergadas.
- Debido a que sus semillas son tóxicas, el aceite resultante no es comestible, por lo que su precio no está influenciado por la competencia con el uso alimenticio.
- Teóricamente cuenta con un alto contenido de aceite en semilla y un muy alto rendimiento potencial de biodiesel por hectárea, superior al de otras oleaginosas como la soja, la colza, el girasol o el ricino.
- Es considerada una especie recuperadora de suelos, lo cual la convierte en una alternativa para la reforestación de zonas erosionadas o con riesgo de desertificación y para ocupar tierras que ya no sirven para la actividad agrícola por haber sido agotadas.
- Es considerado un cultivo social, por ser intensivo en mano de obra, por lo cual podría ser una fuente de empleo en zonas rurales y podría ser desarrollado en pequeñas parcelas por la agricultura familiar⁵⁷.
- La calidad química de su aceite, si bien no es óptima, supera a la de otras oleaginosas como la soja, el algodón, el maní, el girasol y el cártamo (posee un 40% de ácidos grasos monoinsaturados).
- Presenta varias características favorables que podrían incrementar su potencial de rentabilidad: facilidad de implantación; por tratarse de una cultura perenne no requiere renovación anual; su ciclo productivo se extiende de 35 a 50 años; se puede aprovechar toda la planta (sus hojas y raíces pueden tener aplicaciones medicinales, de su tallo se obtiene látex y de su madera carbón vegetal, Tabla 9.2.3.23); es un cultivo muy apto para la intersiembra (especialmente durante sus primeros años, cuando los árboles son pequeños); sus semillas no tienen que ser procesadas inmediatamente (como en el caso de la palma); su aceite es de fácil extracción y la torta residual puede ser utilizada como biofertilizante, dado que es rica en nitrógeno, potasio y fósforo.

⁵⁷ De acuerdo al SNV, en base a planes de negocios y proyecciones de mano de obra en Centroamérica, un valor conservador de requerimiento de mano de obra sería de 105 días-hombre por hectárea durante el inicio de la plantación (plantación: 50, mantenimiento: 50, cosecha: 5) y de 96 días-hombre por hectárea en el año 6, cuando el cultivo está en la plenitud de la producción (mantenimiento: 45, cosecha: 51).

Tabla 9.2.3.23: Explotación de los componentes de *Jatropha curcas* L.



Fuente: Jongschaap et al (2007)

Pese a las múltiples potencialidades que presenta la *Jatropha*, esta alternativa presenta limitantes significativas para su desarrollo a escala comercial en el corto plazo. Entre ellas, la bibliografía y fuentes especializadas⁵⁸ mencionan las siguientes:

- El limitado conocimiento técnico e investigación científica existente y la falta de datos científicos fiables sobre su agronomía, junto al hecho de que sus rendimientos varíen sensiblemente con el ambiente, hacen necesario contar con más información sobre su diversidad genética y sus rendimientos potenciales (en semilla y contenido de aceite) en diversos ambientes y regiones.
- En particular, teniendo en cuenta las ventajas atribuidas por diversos autores, adquiere especial relevancia la falta de conocimiento sobre sus rendimientos potenciales bajo condiciones sub-óptimas y marginales, y la inexistencia de datos científicos que confirmen la atribución de un alto rendimiento de aceite en simultáneo con escasas necesidades de nutrientes, un menor uso de agua, inexistencia de competencia con la producción de alimentos y resistencia a plagas y enfermedades.
- En línea con lo anterior, la falta de variedades mejoradas y semillas disponibles y la falta de conocimiento sobre su diversidad genética, se encuentran entre las carencias más importantes. La *Jatropha* aún no ha sido domesticada y no existen en el mundo programas de mejoramiento genético bien establecidos, que garanticen un rendimiento adecuado.

⁵⁸ Jongschaap et al (2007), SNV (2008), FAO (2008c.), EMBRAPA (2007), INTA.



- Aún no se conoce profundamente el comportamiento de la jatropha a bajas temperaturas, aunque está comprobado que temperaturas duraderas cerca del punto de congelación pueden matar a la planta. Ello representaría una restricción significativa para su desarrollo en la región Sur.
- La falta de experiencia sobre su cultivo a escala comercial (aún no existen en el mundo proyectos consolidados) que puedan confirmar su productividad y rentabilidad. Las predicciones sobre la productividad y rentabilidad del cultivo parecen ignorar en muchos casos los resultados de plantaciones iniciadas en la década del 90, muchas de las cuáles fueron recientemente abandonadas por razones de baja productividad y/o mayores costos laborales que los esperados. Contar con predicciones certeras y fiables sobre los rendimientos de la jatropha resulta esencial para la toma de decisiones en materia de inversión y de políticas de fomento del cultivo.
- La jatropha no cuenta aún con un sistema de producción mínimamente validado que permita recomendar su forma de propagación (semillas, estacas, plantines), densidad de plantación, fertilización, sistemas de cosecha, maquinaria específica, etc.
- De acuerdo a estudios preliminares efectuados en Brasil y otros países, la planta es susceptible a muchas enfermedades y plagas, algunas de las cuales no existen en diversos países de la región y podrían ser introducidas con el cultivo. Aún no se reporta la existencia de paquetes fitosanitarios para jatropha.
- La maduración no uniforme de sus frutos y el hecho de que su colecta sea manual eleva sus costos de producción. Si bien existe en el mundo experimentación para la mecanización parcial de la cosecha, la fragilidad de la planta, el tamaño reducido de las semillas y el florecimiento continuo dificultan los procesos de mecanización⁵⁹.
- La inexistencia actual de un mercado establecido para la jatropha (doméstico e internacional), podría dar lugar a una situación de pocos compradores y precios bajos para el productor, agravados por el hecho de ser una cultura perenne.
- Dado que sus semillas son muy venenosas, la torta obtenida como subproducto de la extracción del aceite es tóxica, lo cual limita la posibilidad de ser utilizada en la alimentación animal (requiere de un proceso de activación)⁶⁰ y afecta la rentabilidad de los proyectos en relación con otras alternativas. Dado que la toxicidad de la jatropha curcas está basada en diversos componentes (ésteres de forbol, curcinas, inhibidores de proteasas, entre otros), la detoxificación completa representa un proceso complicado, no apropiado e inconveniente para la pequeña escala y el uso local, y demasiado costoso para la gran escala.
- La prisa por extender el cultivo de la jatropha⁶¹, en un marco aún caracterizado por la incertidumbre e insuficiente experiencia y conocimiento científico y tecnológico, implica serios riesgos de pérdidas económicas y de pérdida de confianza por parte de las comunidades locales que podrían beneficiarse con el cultivo (agricultura familiar, economías regionales postergadas, etc.).

⁵⁹ Existen en el mundo ensayos preliminares con cosechadoras de olivo y café, aunque sin resultados concluyentes.

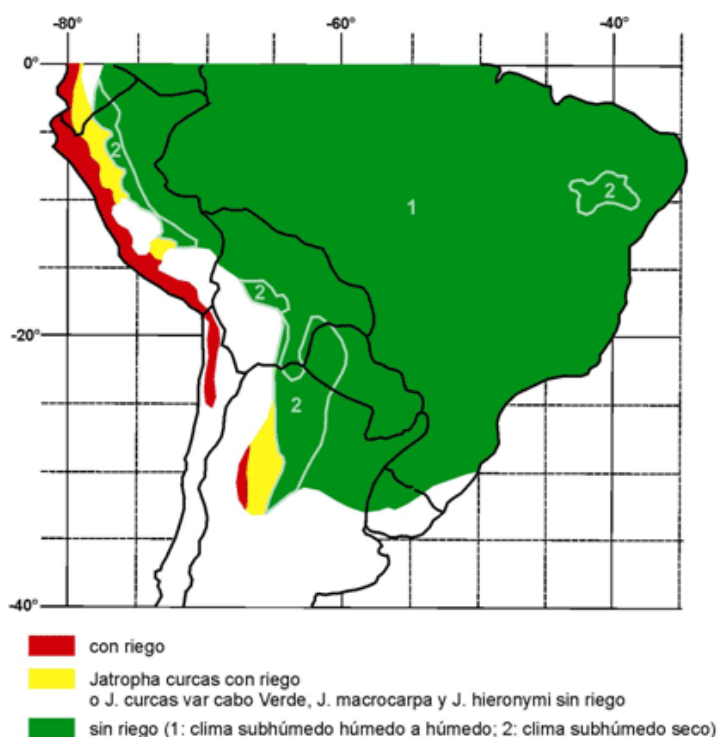
⁶⁰ Existe actualmente experimentación sobre la desintoxicación de la torta para su uso en alimentación animal, pero hasta el momento solo se ha realizado a escala de laboratorio. Al respecto, el SNV reporta que en ensayos de laboratorio con ratas, realizados en Nicaragua, se han descubierto efectos cancerígenos hasta la quinta generación, aún habiéndose eliminado curcina y otros tres elementos tóxicos.

⁶¹ En muchos países, las voces más entusiastas que fomentan su cultivo, son las mismas que venden semillas y plantines, a muy altos costos y de potencial genético desconocido (Benge, 2006, citado por INTA).

Teniendo en cuenta la versatilidad y adaptabilidad de la jatropha, más allá de las limitantes mencionadas, Sudamérica cuenta con un alto potencial para su cultivo, en términos de aptitud de tierras (Figura 9.2.3.24).

En los países de la región, pese a la gran presión existente por parte de inversores nacionales e internacionales para la plantación de grandes superficies de jatropha y al surgimiento de algunos emprendimientos privados con diferentes niveles de formalidad, se está avanzando con cautela: los gobiernos nacionales no están fomentando aún el cultivo, y se está poniendo énfasis en la investigación y experimentación a los efectos de reunir el acervo de conocimiento indispensable sobre la viabilidad económica, social y ambiental del cultivo. Al respecto, se mencionan a continuación algunas iniciativas relevantes en la región.

Figura 9.2.3.24: Zona potencial de cultivo de *Jatropha curcas*



Fuente: Falasca y Ulberich (2008)

En Argentina, en el norte del país, crecen en forma silvestre algunas especies de jatropha, entre ellas las de los subgéneros curcas, macrocarpa hieronymi. El Programa de Bioenergía del INTA está coordinando el Proyecto Jatropha, que incluye estudios de comportamiento y conducción agronómica en los Valles templados (Cerillos), Chaco semiárido y en el Umbral Chaco con clima tropical sub-húmedo, recolección, clasificación y estudio del material genético de especies autóctonas, estudio de enfermedades y plagas, mejoramiento por genética molecular, desarrollo de tecnologías de micropropagación, extracción y estudio de calidad de aceites, etc. También se están desarrollando estudios generales sobre factibilidad de producción. Los proyectos de investigación están en sus primeras etapas, de uno a dos años (Hilbert, 2008).

En Bolivia, los departamentos de Chuquisaca, La Paz, Tarija, Santa Cruz, Beni y Pando, cuentan con potencialidades para la producción de jatropha (CAINCO-IBCE). El Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT) se encuentra en fase de investigación y plantación de viveros con 4 variedades de jatropha recolectadas de diferentes países, para su comparación con la variedad que nace localmente en Santa Cruz,

mientras que en laboratorio se ejecutan los análisis correspondientes para determinar la cantidad y calidad de aceite, tanto de la variedad local y extranjera. Al mismo tiempo están siendo analizadas, para su selección de acuerdo a la cantidad y calidad de aceite para la producción de biodiesel. A comienzos de 2009, la Mancomunidad El Pantanal con el respaldo de la Prefectura y productores oleaginosos iniciaron a través del CIAT la plantación de *Jatropha* para las pruebas en suelo de las variedades de semillas locales y extranjeras.

En Brasil, EMBRAPA desarrolla un plan de I+D+i en *Jatropha*, el cual se concentra en tres componentes: genética (Banco Activo de Germoplasma y programa de mejoramiento genético), manejo (nutrición, estacionalidad del florecimiento y cosecha mecánica) y procesamiento (destoxificación de la torta, tratamiento de poscosecha y calidad del aceite). También existen avances en materia de coordinación de la producción, a partir de la creación de la *Associação Brasileira dos Produtores de Pinhão Manso* (ABPPM).

En Chile, la *Jatropha* también está en fase de investigación y experimentación. Al respecto, se están desarrollando 3 proyectos ligados a instituciones de investigación y/o universidades y aportes de fondos públicos: el INIA está desarrollando la evaluación agronómica de la *Jatropha* como materia prima para producir biodiesel en zonas semiáridas en suelos marginales y con aguas residuales y salinas; la Universidad de Tarapacá, desarrolla el cultivo de 1.500 hectáreas en terrenos marginales de la provincia de Arica; y la Universidad de Chile y empresas privadas están estudiando el comportamiento y arraigamiento de la planta en distintas zonas (Traub R., 2008). Este último proyecto, denominado "Desarrollo y validación del cultivo de *Jatropha* en la zona norte de Chile para la producción de biodiesel", contempla la introducción y adaptación de la especie; selección y propagación de genotipos sobresalientes; definir el potencial productivo y modelo de manejo integral y determinar la viabilidad técnico-económica del cultivo (FIA – MINAGRI).

En Paraguay, a pesar de tratarse de una planta nativa, el cultivo de la *Jatropha* no es muy conocido. Recientemente, se han anunciado algunos emprendimientos privados para producir *Jatropha* en el país.

En Colombia, luego de realizar un estudio exhaustivo de los cultivos y zonas potenciales para el desarrollo de cultivos energéticos, CORPOICA encontró que en gran parte de la geografía colombiana se encuentran variedades genéticas de *Jatropha Curcas* L. Ello llevó a esta Corporación a tomar la iniciativa de aplicar el proyecto "Determinación de las zonas con potencial biofísico e identificación de materiales genéticos para el establecimiento y desarrollo agroindustrial del Piñón (*Jatropha Curcas* L.) en Colombia", con el fin de realizar la colecta, caracterización, documentación y conservación de esta información (IICA-Colombia). Este proyecto se está desarrollando en la Guajira, Meta, Vichada, Antioquia y Tolima (CORPOICA).

En Ecuador, si bien la *Jatropha* no se produce comercialmente, el cultivo es conocido, ya que se lo utiliza como parte de cercas vivas de potreros y divisiones de terrenos. Las zonas más aptas para la *Jatropha* son Manabí, Guayas y los cantones fronterizos de Loja. El INIAP desarrolla el proyecto "Desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento del piñón (*Jatropha curcas* L.) como fuente de biocombustibles en tierras marginales secas del litoral ecuatoriano", el cual apunta a identificar y validar tecnologías para la producción de la *Jatropha*, a validar y ajustar tecnologías para la obtención y uso de su aceite y su biodiesel y el aprovechamiento de sus subproductos, y a realizar un análisis financiero y de mercado del aceite y del biodiesel de *Jatropha* (INIAP). En Manabí se han contabilizado 7.000 kilómetros donde existe la planta, se la está investigando en el marco del citado proyecto, y se busca generar, al cabo de dos años, tecnologías de manejo del cultivo e identificar variedades precoces y productivas con altos índices de rendimiento de aceite.

En Perú, la *Jatropha* se desarrolla naturalmente en las regiones naturales de sierra y selva ubicadas en Piura, Chiclayo, Huaraz, Lima, Ica, Cajamarca, Huanuco, Cerro de Pasco, Huancayo, Huancavelica, Ayacucho, Chachapoyas y Moyabamba (IICA-Perú). El INIA está desarrollando análisis de variedades y desarrollo del paquete tecnológico de *Jatropha curcas* para la Selva Alta y Costa Norte (con apoyo del SNV). También se



están desarrollando estudios de prefactibilidad para el desarrollo del cultivo de jatropha con enfoque de Negocios Incluyentes (NI) y la Cooperación Alemana (GTZ), viene realizando en Piura proyectos con diferentes variedades para determinar su rendimiento y probar su suministro de energía. De acuerdo a GTZ, para un uso de comercial de la jatropha en el país se requiere resolver problemas tales como mejorar la base genética, contar con semillas mejoradas, hacer una propagación por estacas, contar con plantas injertadas y lograr una detoxificación de residuos (GTZ, citado por CEPAL, 2008c).

A mediados de 2008 se anunció en Chile la constitución de la Red Latinoamericana de Investigación en Jatropha (AGROENERGETICOS), un consorcio de centros de educación, investigación, empresas y organizaciones de cooperación internacional, que tienen intención de colaborar en el desarrollo y difusión del conocimiento científico y aplicado del cultivo de Jatropha y de otras iniciativas relacionadas con la agroenergía.

9.2.3.3 Otros cultivos y materias primas para la producción de biodiesel

Además de los cultivos descritos existe una amplia diversidad de materias primas utilizables en la elaboración de biodiesel. Un análisis exhaustivo de cada una de estas alternativas excede las posibilidades del presente documento. A continuación se presenta una síntesis para algunos casos considerados relevantes.

Entre estas materias primas se destaca el **girasol** (*Heliantus annus*), por su nivel de disponibilidad. Con una producción de 4 millones de toneladas de semilla y de 1,34 millones de toneladas de aceite, el girasol es el tercer complejo oleaginoso más importante de Sudamérica. No obstante, la producción de esta oleaginosa y de su aceite está altamente concentrada en Argentina (Gráficos 9.2.3.25 y 9.2.3.26). Argentina es el tercer productor mundial de semilla de girasol (3,5 millones de toneladas en el ciclo 2006-07) y se destaca como primer exportador mundial de aceite de girasol (1,2 millones de toneladas en 2007). En este país el girasol es la segunda oleaginosa de importancia después de la soja. Al igual que la cadena sojera, la cadena girasolera argentina también se encuentra consolidada, y su disponibilidad para la producción de biodiesel es alta, si se tiene en cuenta que en los últimos 5 años se exportó el 75% de la producción de aceite. El girasol presenta algunas características que lo convierten en una alternativa atractiva, tales como su tolerancia relativa a la sequía y su adaptabilidad a diversos climas (templados, tropicales, mediterráneos), factores que le permiten desarrollarse en ambientes desfavorables para otros cultivos. Al igual que en el caso de la soja, la producción conjunta de biodiesel y harina proteica de girasol (muy rica en contenido de proteína: 40% a 50%) puede resultar en una ventaja relevante para la rentabilidad de los proyectos. Si bien el girasol presenta un mayor contenido de aceite en semilla (35% a 54%) y rendimiento en litros de aceite por hectárea (550 a 850 lt/ha) con respecto a la soja, el costo de oportunidad de destinar su aceite a la producción de biodiesel es más elevado, teniendo en cuenta el histórico diferencial de precios existente entre ambos aceites. El costo de oportunidad representa también una limitante para el caso específico del girasol alto oleico, cuyo aceite permitiría obtener un biodiesel de calidad óptima pero cotiza con una prima sobre el aceite de girasol convencional. Estas limitantes explican por qué la producción de biodiesel de girasol ha sido prácticamente nula en la región.

Gráfico 9.2.3.25: Girasol-participación en la producción por países. 2007

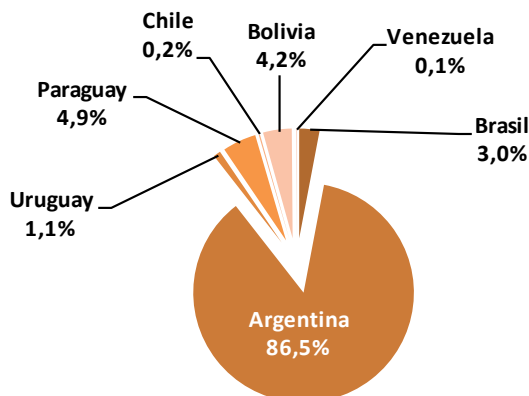
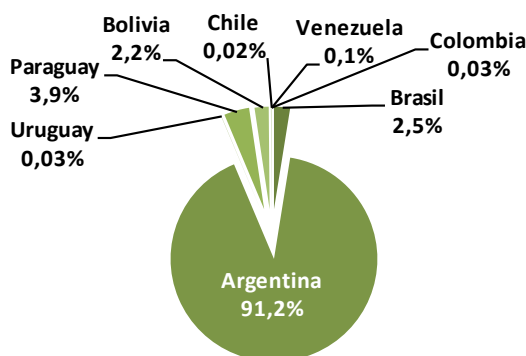


Gráfico 9.2.3.26: Aceite de girasol-participación en la producción por países. 2007



La región presenta también experiencias relevantes en la producción de aceites de **algodón** (*Gossypium hirsutum*) y de **maní** (*Arachis hypogaea*). En ambos casos, la producción sudamericana está liderada por Brasil (primer productor de semilla y aceite de algodón) y Argentina (primer productor de maní y aceite de maní en la región, segundo exportador mundial de dicho aceite). De acuerdo a estadísticas mensuales de la ANP, el aceite de algodón es actualmente la tercera materia prima utilizada en Brasil, para producir biodiesel (5% de la cantidad de materias primas utilizadas en febrero de 2009). El maní se destaca por su alto contenido de aceite en semilla (36%-56%), que podría dar lugar a rendimientos superiores a 1.000 litros de biodiesel por hectárea.

Estas materias primas presentan limitantes significativas relacionadas con sus altos costos de oportunidad, ya que los precios de sus aceites cotizan históricamente por encima de los de la soja, la colza y la palma. Entre los aceites comestibles, el aceite de maní es el de cotización internacional más alta después del aceite de oliva, razón por la cual no está siendo utilizado por la industria del biodiesel. En el caso del algodón, no obstante, vale destacar que de acuerdo a un estudio de la Universidad de San Pablo (ESALQ, 2005), en un esquema que considera a la semilla como un subproducto de la producción de fibra, el biodiesel de aceite de algodón sería el de menor costo de producción en Brasil, en comparación a los casos de la soja, girasol, ricino, maní y palma. En este caso, sin embargo, el estudio plantea, frente a esa ventaja económica, limitantes relacionadas con la escala, que impedirían atender a un programa nacional. De todos modos, podría tratarse de una opción viable para autoconsumo o abastecimiento en pequeñas localidades alejadas de los puertos. Otra limitante para estas materias primas está relacionada con la calidad química del aceite

para biodiesel, especialmente en el caso del algodón⁶². El rendimiento potencial del biodiesel por hectárea del algodón (menor a 400 lt/ha) es sustancialmente inferior al del resto de las oleaginosas consideradas, debido a su bajo rendimiento agrícola y contenido de aceite en semilla (15%-22%).

El **cártamo** (*Carthamus tinctorius*) es una materia prima valorada a partir de argumentos tales como: a) su rusticidad y excelente adaptación a condiciones de aridez, que lo liberaría de competir con tierras destinadas a la producción de alimentos; b) su carácter de cultivo regional, con potencial para ser producido en zonas áridas y semiáridas; c) se trata de una oleaginosa de ciclo invernal, por lo que no competiría con los cultivos estivales; d) en el caso específico de las variedades de semilla mejoradas -alto oleicas-, el alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados de su aceite genera un biodiesel de calidad óptima. La producción sudamericana de cártamo está totalmente concentrada en Argentina, que en 2007 produjo 58.000 toneladas de semilla y 15.000 toneladas de aceite.

Pese a sus atractivos, el cártamo presenta limitantes importantes, que tienen que ver con: a) aspectos tecnológicos, tales como desarrollo tecnológico incipiente, falta de I+D en manejo, características de la estructura y desarrollo de las plantas (lento crecimiento inicial, presencia de espinas que dificulta su cosecha); b) su productividad: si bien su semilla posee un relativamente alto contenido de aceite (25%-40%), su bajo rendimiento agrícola da lugar a un bajo rendimiento potencial de biodiesel por hectárea (210 a 335 lt/ha); b) en el caso de semillas tradicionales, su aceite contiene una baja proporción de ácidos grasos monoinsaturados (14%) y una muy elevada proporción de ácidos grasos poli-insaturados (75%), lo cual afecta negativamente la calidad del biodiesel; c) el costo de oportunidad del aceite de cártamo, especialmente el del alto oleico, en comparación con el aceite de soja, el de palma y otras alternativas (se trata de un *specialty* de alto valor en el mercado de alimentos, por ser uno de los de mayor calidad dietética para consumo humano).

Entre otras oleaginosas no tradicionales pueden mencionarse al **cardo penquero** (*Cynara cardunculus L.*), la **lesquerella** (*Brassicaceae*), la **jojoba** (*Simmondsia chinensis*) y el **lupino**. Se trata de alternativas que, en teoría, podrían representar posibilidades para economías regionales, por su posibilidad de desarrollarse en zonas áridas o de climas fríos, lo cual a su vez implicaría no competir con la utilización de tierra para la producción de alimentos. No obstante, estas alternativas enfrentan muchas de las restricciones mencionadas para el caso de la jatropha, en términos de falta de conocimiento científico y técnico, falta de experiencia y desarrollo tecnológico, mercados aún prácticamente inexistentes, etc., a las cuales se añaden otras limitantes adicionales que, según cada cultivo, están relacionadas con el bajo rendimiento potencial de biodiesel por hectárea (lesquerella y lupino), la calidad química del aceite (lesquerella y lupino) o el costo de oportunidad que representa la alta cotización de su aceite (jojoba)⁶³.

A estas alternativas se agrega una amplia variedad de **oleaginosas tropicales**, principalmente amazónicas, de ocurrencia nativa (Tabla 9.2.3.27). Dentro de este grupo, la más significativa, en términos de experiencia comercial existente, es el **cocotero** (*Cocos nucifera*). Los países de la región sumaron una producción de 3 millones de toneladas de fruto y de 15.200 toneladas de aceite de copra en 2007, con Brasil liderando la producción de fruto (89% de la producción) y Venezuela la de aceite (76%). De acuerdo a EMBRAPA, el cultivo del cocotero posee amplia adaptabilidad, puede ser cultivado en áreas donde otros cultivos tradicionales no se establecerían de forma sustentable, tiene gran potencial para la producción de aceite (65 a 72%, en coqueros gigantes y 65 a 66% en el híbrido, pudiendo alcanzar hasta 4tn/ha), posee gran importancia social y económica y contribuye a la sostenibilidad de ecosistemas frágiles.

⁶² En ambos casos el aceite está compuesto por una mayor proporción de ácidos grasos saturados y poli-insaturados con respecto a los ácidos grasos mono-insaturados (cuya participación es del 19,8% en el aceite de algodón y del 38,7% en el de mani).

⁶³ Para mayor información, véase García Penela (2007) (jojoba, lesquerella y lupino); Falasca, S. y Ulberich, A. (2007) (cardo penquero).

En el resto de las oleaginosas tropicales, la experiencia existente es nula a escala comercial e incipiente en materia de investigación, caracterización y conocimiento. Entre las que han despertado mayor interés, especialmente en Brasil, se encuentra el **babasu** (*Orbignia phalerata*). Se trata de una alternativa con implicancias sociales importantes, teniendo en cuenta que en el norte de Brasil, la extracción del aceite y otros productos aprovechables, es efectuada por miles de personas, mayoritariamente mujeres, que viven en condiciones de subsistencia. Se estima que en este país las florestas nativas de babasu cubren unos 17 millones de hectáreas, aunque según algunos autores, el área con concentración suficiente de palmeras explorables es menor a 100.000 hectáreas (IICA/SAGPyA, 2005). Prácticamente no existe cultivo sistemático del babasu y la producción extractiva proviene de palmeras espontáneas. Éstas poseen una productividad de 2,5 tn de frutos por hectárea, semillas que pesan un 7% del total del fruto y que contienen de 65% a 68% de un aceite similar al de palma. Considerando el área de palmeras explorables en 100.000 hectáreas, la producción potencial de biodiesel a partir del babasu en Brasil sería de 120 millones de litros (IICA/SAGPyA, 2005).

Tabla 9.2.3.27: Oleaginosas tropicales

Nombre Común	Nombre Científico	Parte Oleaginosa	Rendimiento Estimado	
			de Aceite en Plantaciones (kg/ha/año)	Contenido de Aceite del Fruto o Semilla
Aguaje	<i>Mauritia Flexuosa</i>	Pulpa	2.400	21,1
Almendro	<i>Caryocar Villosum</i>	Pulpa y Semilla	270	
Alemendro Colorado	<i>Caryocar Glabrum</i>	Semilla		37
Babasu	<i>Orbignia Phalerata</i>	Semilla	90 - 150	72
Bacuri	<i>Platonia Insignis</i>	Semilla		46
Castaña	<i>Bertholletia Excelsa</i>	Semilla	1575	69,3
Chopé	<i>Gustavia Longifolia</i>	Pulpa		30
Coco	<i>Cocos Nucifera</i>	Endocarpio	610 - 732	66
Copoasu	<i>Theobroma Grandiflorum</i>	Semilla	482 - 808	
Hamaca Huayo	<i>Couepia Dolycopoda</i>	Semilla	70 - 80	
Huasaí	<i>Euterpe Precatoria</i>	Pulpa y Semilla		
Inchi	<i>Caryodendron Orinocense</i>			41 - 59
Marañón	<i>Anacardium Occidentale</i>	Nuez		46,3
Olla de Mono	<i>Lecythis Pisonis</i>	Almendra		
Pijuayo	<i>Bactris Gasipaes</i>	Pulpa y Semilla	2.000	23
Poloponta	<i>Elaeis Oleifera</i>	Pulpa y Semilla	1.800	16,2
Sacha Inchi	<i>Plukenetia Volubilis</i>	Almendra	51,4	
Sacha Mangua	<i>Grias Neuberthii</i>	Pulpa	165	
Sinamillo	<i>Oenocarpus Mapora</i>	Pulpa		
Totali	<i>Acricomia Totali</i>	Pulpa y Semilla	12-15 (pulpa)	60 (almendra)
Tucuma	<i>Astrocaryum Vulgare</i>	Pulpa y Semilla		43,7
Umari	<i>Poraqueiba Sericea</i>	Pulpa	530	21,2
Ungurahui	<i>Oenocarpus Bataua</i>	Pulpa	240 - 525	19 (mesocarpo) 14,5 (epicarpo)
Uxi	<i>Dickesia Verrucosa</i>	Pulpa	20,2	

Fuente: Castro, Paula et al. (2007)

En Perú, la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) investiga desde hace algunos años cerca de 50 plantas y semillas oleaginosas que crecen en la selva peruana con miras a la elaboración de biodiesel, tales

como **aguaje** (*Mauritia flexuosa*), **umari** (*Poraqueiba sericea*), **ungurahui** (*Oenocarpus bataua*), **castaña** (*Bertholetia excelsa*), **sacha inchi** (*Plukenetia volubilis*) y **poloponta** o palmera aceitera americana (*Elaeis oleifera*), entre otras. Estos estudios han identificado algunas especies nativas interesantes que deberían estudiarse con mayor detalle, como la pololonta, que si bien presenta menores rendimientos que la difundida palma aceitera africana (*Elaeis guineensis*), podría ser más recomendable para las condiciones específicas de la Amazonía peruana (Castro P. et al, 2007). En otros casos, como el de los aceites de castaña y de sacha inchi, se ha determinado que los mismos poseen usos más rentables que la producción de biodiesel debido a su muy alta calidad⁶⁴.

Aparte de los aceites vegetales, vale señalar la posibilidad de producir biodiesel a partir de **grasas animales**, que se presenta como una opción interesante para la industria frigorífica, al aumentar el valor y la utilidad de subproductos marginales como el sebo. El sebo es la grasa bruta resultante de la extracción y limpieza de las vísceras, que se obtiene principalmente del tejido de res reciclado. El mismo implica un proceso de producción definido de donde se extraen sebos de distintas calidades, determinadas por su porcentaje de proteínas y color. Su uso para biodiesel permitiría el aprovechamiento de este subproducto en la forma de sebo “fundido”.

El potencial de producción de biodiesel de grasas animales en la región es significativo, si se tiene en cuenta que, sólo considerando ganado vacuno, se faenaron en Sudamérica 64 millones de animales en 2007, destacándose particularmente Brasil, Argentina y Uruguay. En Brasil la utilización de grasas bovinas viene registrando una participación creciente como materia prima para la producción de biodiesel. De acuerdo a estadísticas de la ANP, en febrero de 2009, las grasas bovinas representaron el 19% de la cantidad total de materias primas utilizadas en la producción de biodiesel, ubicándose en segundo lugar, detrás del aceite de soja. En Uruguay, varias de las plantas de biodiesel establecidas prevén la utilización de sebo bovino. En este país, en el período 2000 – 2005 se exportó un volumen promedio de casi 45.000 toneladas por año sin ningún valor agregado, cantidad suficiente para cubrir las necesidades de materia prima requeridas por las metas de mezcla de biodiesel que propone el marco legal (IICA-Uruguay). En Argentina no se registran aún antecedentes de producción de biodiesel a partir de esta materia prima, aunque de acuerdo a estimaciones del Programa Nacional de Biocombustibles de la SAGPyA, la producción potencial de biodiesel que podría obtenerse a partir de la grasa bovina se ubicaría en 250.800 toneladas anuales⁶⁵. En Paraguay la producción de biodiesel a partir de grasa animal se realizó inicialmente en forma experimental, ya que no existía la reglamentación para su uso en forma comercial ni tampoco las normas de calidad del mismo. La reglamentación de la mezcla obligatoria de gasoil con biodiesel ha incentivado la producción del mismo con fines comerciales. De acuerdo a estimaciones del IICA-Paraguay (Souto, 2008), en caso de que el 50% de la producción de sebo vacuno proveniente de la faena sea utilizado con fines energéticos, se tendría un volumen de aproximadamente 9,5 millones de litros de biodiesel anuales, cantidad casi suficiente para completar el 1% de mezcla establecido.

Entre las ventajas relativas del biodiesel de sebo bovino se destacan sus bajos costos de producción y de oportunidad en comparación con los aceites vegetales. Sus principales restricciones están relacionadas con

⁶⁴ De acuerdo a estudios realizados, se cree que las semillas de sacha inchi pueden superar en calidad a todas las semillas oleaginosas utilizadas para la producción de aceites, por tener el más alto contenido de aceites insaturados omega (92%) que son reductores del colesterol (IICA-Perú, 2008).

⁶⁵ El cálculo surge de considerar la cantidad de animales faenados en 2005 (14,25 millones de cabezas), un peso promedio por res de 220 kg. y un 10% de grasa promedio por animal.

sus propiedades químicas caracterizadas por una alta proporción de ácidos grasos saturados, que afectan negativamente el comportamiento del biodiesel a bajas temperaturas⁶⁶.

Otras alternativas vinculadas con la producción animal, y en la que existen ciertos antecedentes en el mundo (al menos en términos de I+D o de determinados proyectos) son la grasa de pollo y de cerdo y el aceite de pescado.

Por último, es importante considerar a las **algas y microalgas**, como una alternativa de gran potencial en el largo plazo. Esta posibilidad ya cuenta con avances en algunos países de la región, como Argentina, en donde en la Patagonia se está desarrollando un proyecto privado, con apoyo del gobierno de la Provincia de Chubut. Las principales ventajas de la utilización de algas como materia prima para biodiesel están relacionadas con⁶⁷: a) el elevado contenido de aceite de algunas especies (alrededor del 50%) y su alto rendimiento potencial de biodiesel por hectárea⁶⁸, altamente superior al de las oleaginosas; b) pueden crecer extremadamente rápido en condiciones óptimas⁶⁹; c) no compiten con la producción de alimentos, al no requerir tierras agrícolas (pueden producirse en estanques o en foto-bio-reactores), dando lugar a la posibilidad de desarrollar proyectos en regiones desérticas o en costas; d) de la extracción de su aceite se obtiene un subproducto que contiene diversos compuestos nutritivos que podría utilizarse en las industrias alimenticias y farmacéuticas; e) poseen una alta capacidad para utilizar altos volúmenes de dióxido de carbono, con lo cual sus proyectos podrían mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en cercanías de complejos industriales de alta generación de CO₂.

A pesar de su gran potencial, el biodiesel a partir de algas presenta aún restricciones significativas a superar, entre ellas se mencionan las siguientes⁷⁰: a) la tecnología aún no está disponible a escala industrial, a pesar de décadas de desarrollo en Estados Unidos, Japón y algunos países de la UE; b) mantener las condiciones óptimas para el crecimiento rápido de las algas y su supervivencia implica costos sustancialmente mayores a los requeridos por los cultivos terrestres⁷¹; c) los cultivos de algas tienden a ser inestables y a ser colonizados regularmente por otras algas más fuertes (que biológicamente no necesariamente serían adecuadas para la producción de biodiesel) y, a diferencia de los cultivos terrestres, las técnicas para lidiar con ello pueden resultar extremadamente dificultosas; d) dificultades de cosecha en comparación con los cultivos terrestres, por parte de las tecnologías probadas (membranas y floculación); e) falta de flexibilidad de los sistemas productivos, en comparación con la agricultura terrestre que, ante cambios en la coyuntura o en el entorno económico, puede reorientar la utilización de sus activos (tierra y maquinaria) hacia una amplia variedad de cultivos.

⁶⁶ *Tiende a cristalizarse en una masa sólida que no puede ser filtrada o bombeada. En el caso del biodiesel de sebo, el punto nube (la temperatura a partir de la cual comienzan a aparecer cristales) se estima en 12°C, en contraposición a la colza (0°C) o el girasol (-18°C). El punto nube puede reducirse a partir de la mezcla con el diesel o con el biodiesel elaborado con otras materias primas y también mediante el uso de aditivos, lo cual incrementa los costos.*

⁶⁷ *Dela Vega Lozano (2007); National Renewable Energy Laboratory (1998); Briggs (2004).*

⁶⁸ *20.000 litros de biodiesel/ha de acuerdo al Programa Hemisférico de Agroenergía y Biocombustibles del IICA, 50.000 litros según promedio de diversas fuentes efectuado por Dela Vega Lozano (2007).*

⁶⁹ *Según Dela Vega Lozano (2007), entre 50 y 150 gramos de materia seca por metro cúbico diariamente, en condiciones favorables dentro de foto-bio-reactores.*

⁷⁰ *BIOPACT (2007b y 2007c); National Renewable Energy Laboratory (1998).*

⁷¹ *Según un estudio (Dimitrov, 2007), para el caso de los foto-bio-reactores, mientras podría ser teóricamente posible alcanzar tasas de crecimiento 10 veces más altas que las mejores tasas de crecimiento terrestre (en los trópicos), los gastos asociados con el cultivo de microalgas en los mismos son extremadamente más elevados que los de los cultivos terrestres.*

9.2.4 Consideraciones generales

Del análisis presentado en las sub-secciones anteriores se desprende que la región cuenta con un significativo potencial, en términos de disponibilidad de recursos naturales y de condiciones edafoclimáticas, para la producción de una amplia variedad de materias primas. En el caso de las materias primas de disponibilidad inmediata, en la mayoría de los países se dispone de saldos exportables suficientes como para satisfacer las mezclas de biocombustibles con combustibles fósiles previstas en sus legislaciones y, en algunos casos, lograr una inserción relevante en el mercado internacional.

Considerando tanto a las materias primas de disponibilidad inmediata como a las alternativas, resulta importante tener en cuenta que las posibilidades y valoración de cada materia prima en cada país están relacionadas con una amplia gama de parámetros, entre ellos (Ganduglia, 2008):

- El potencial de conversión en biocombustibles (rendimiento en alcohol o aceite por hectárea) (caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo dulce, materias primas lignocelulósicas, palma aceitera, jatropha, algas, principalmente).
- El nivel de disponibilidad actual y garantía de oferta (caña de azúcar, maíz, soja, palma aceitera y girasol).
- Sus costos de producción y de oportunidad (caña de azúcar, palma aceitera, soja y sebo bovino).
- La calidad y propiedades del aceite para ser utilizado con fines carburantes, en el caso del biodiesel (colza, cártamo alto oleico y girasol alto oleico, principalmente).
- El potencial de utilización de los subproductos específicos y su impacto en la rentabilidad de las plantas productoras (caña de azúcar, maíz, soja, colza y girasol, principalmente).
- El potencial para la producción conjunta de materias primas alimentarias (como por ejemplo harinas proteicas) y biocombustibles (sorgo dulce, remolacha azucarera, residuos agrícolas, soja, colza y girasol, principalmente).
- El nivel de experiencia y conocimiento en el cultivo y su manejo (caña de azúcar, maíz, sorgo granífero, palma aceitera, soja y girasol).
- El nivel de desarrollo y organización de su cadena productiva (disponibilidad de semillas y genotipos mejorados, de insumos específicos, de mano de obra, de especialistas en el cultivo, de maquinaria y equipo específicos, infraestructura, etc.) (caña de azúcar, maíz, sorgo granífero, palma aceitera, soja y girasol).
- Aspectos de política socioeconómica, como la intensidad en mano de obra del cultivo e impacto en el empleo, su potencialidad para fomentar el desarrollo de economías rurales y regionales postergadas, o para brindar posibilidades de inserción a la agricultura familiar o a pequeños y medianos productores rurales (mandioca, remolacha azucarera, sorgo dulce, ricino, jatropha, cártamo y oleaginosas tropicales, principalmente).
- Aspectos de sustentabilidad, tales como las posibilidades de crecimiento en tierras marginales, degradadas, o áridas o semiáridas menos aptas para la producción de cultivos alimentarios

(determinadas hierbas perennes como switchgrass, sorgo granífero y sorgo dulce, mandioca, remolacha azucarera, jatropha, ricino y cártamo, principalmente) o el balance energético y de emisiones de GEI que genere la cadena de biocombustibles específica del cultivo (cultivos perennes en general, oleaginosas anuales bajo sistemas y prácticas conservacionistas), entre otros (Ver sección 9.3.2).

También deben considerarse aspectos relacionados con la estacionalidad de los productos, con la logística y con la importancia fundamental de disponer de mercados cercanos. En los casos de altos costos de oportunidad, como por ejemplo el del aceite de ricino, la viabilidad económica para su utilización como materia prima sólo podría darse en regiones alejadas de los puertos.

Teniendo en cuenta que cada cultivo o materia prima presenta ventajas y desventajas relativas, o restricciones para su inserción en la cadena de biocombustibles, resulta fundamental la generación de un portfolio óptimo que cumpla conjuntamente con criterios de competitividad, sustentabilidad ambiental e inclusión social (o como mínimo no exclusión). Ello no implica a priori descartar materias primas, sino garantizar el cumplimiento de esas premisas en cada alternativa considerada.

Además, la diversificación de la producción agrícola constituye una de las grandes oportunidades que brinda el desarrollo de la cadena de biocombustibles. Dadas la amplia gama de cultivos y materias primas factibles para producir biocombustibles y la gran diversidad de condiciones climáticas y edáficas presentes en los países de la región, el desarrollo de la cadena representa también grandes oportunidades para el desarrollo de las economías rurales, regionales y locales.

La utilización de un conjunto amplio de materias primas permitiría, a su vez, reducir riesgos en términos de estabilidad de precios y de suministro, aspecto fundamental si se tiene en cuenta la alta participación de la materia prima en el costo de producción de los biocombustibles.

Como surge del análisis de las distintas materias primas en la sección anterior, muchas de las restricciones a la incorporación o el desarrollo de cultivos socialmente deseables o con mayor eficiencia de conversión en biocombustibles por hectárea pueden ser superadas a través de políticas que contemplen programas e instrumentos adecuados, tales como I+D, asistencia técnica y extensión, gestión de articulación y vinculación, fomento de seguros agrícolas para cultivos no tradicionales, etc. Mientras que muchos de los riesgos sobre el medioambiente que representarían algunos cultivos extendidos están más relacionados con los sistemas de producción y prácticas agrícolas utilizadas que con el cultivo en sí. En este sentido, la adopción de las prácticas conservacionistas descritas en la próxima sección puede resultar determinante para minimizar externalidades negativas usualmente asociadas a determinados cultivos.

Como primer paso para una diversificación y regionalización eficiente de cultivos orientados a la agroenergía, resultará necesario que los países continúen y avancen en el diseño y desarrollo de redes de conocimiento, determinación de líneas de investigación, creación de redes de introducción y ensayos de cultivos en diferentes áreas agroecológicas y constitución de atlas de referencia para los cultivos con potencial para la producción de biocombustibles.

A su vez, la investigación sobre las posibilidades de colocación y de nuevos usos de los subproductos asociados a cada una de estas alternativas resulta fundamental para acrecentar su rentabilidad y viabilidad. También resultaría sumamente fructífero explorar y profundizar el estudio de las posibilidades que presentan estos cultivos para el desarrollo de dobles cultivos (por ejemplo, soja – colza), poli-culturas (por ejemplo, la colza y el cártamo son compatibles con la apicultura, dado que son melíferas; el ricino se produce consorciado con porotos en el Nordeste de Brasil, etc.) o sistemas integrados con la producción ganadera como los mencionados para el caso del maíz.

9.3 Aspectos económicos, ambientales y sociales del desarrollo de los biocombustibles

Como se comentó en la sección 9.1.2, el surgimiento de la cadena mundial de biocombustibles representa oportunidades relevantes en términos de seguridad energética, mitigación del cambio climático y desarrollo rural, agropecuario y económico, pero también implica riesgos y potenciales externalidades negativas, relacionados con: a) el impacto en el precio de los alimentos que supondría una competencia creciente por el uso de las materias primas utilizadas actualmente para producir biocombustibles; b) el impacto sobre el medio ambiente que podría tener la expansión de la producción agrícola; c) determinados impactos sociales no deseados.

9.3.1 El dilema biocombustibles vs. alimentos

Uno de los debates centrales en torno a los biocombustibles gira alrededor de su posible competencia con la producción de alimentos y su consecuente impacto en la seguridad alimentaria de la población mundial. En el marco de este debate, se plantea la existencia del usualmente denominado “dilema biocombustibles vs. alimentos”, argumentándose que la mayor demanda de biocombustibles generará una competencia por la tierra agrícola entre los cultivos destinados a la producción de alimentos y los destinados a la producción de biocombustibles, lo cual daría lugar a impactos negativos sobre la seguridad alimentaria, en términos de menor disponibilidad (escasez de alimentos) y acceso (mayores precios a los consumidores).

A nivel global, el debate “biocombustibles vs. alimentos” se profundizó en 2007 y, especialmente 2008, a partir de la escalada acontecida en los precios mundiales de las *commodities* agrícolas y de los alimentos. El comportamiento de estos precios- que partiendo de una tendencia de lento pero sostenido crecimiento a partir de 2001, crecieron sustancialmente en 2006 y se aceleraron drásticamente a partir del último trimestre de 2007- generaron una profunda preocupación mundial durante 2008 a partir de sus impactos sobre la seguridad alimentaria, especialmente al nivel de los países de bajos ingresos importadores netos de alimentos y al nivel de las unidades familiares consumidoras netas de alimentos, urbanas y en algunos casos rurales.

Detrás del agudo incremento en los precios ocurrido entre 2001 y el segundo trimestre de 2008 hubo una amplia diversidad de factores explicativos, estructurales y coyunturales, algunos propios de los *fundamentals* específicos de los mercados agrícolas y otros de carácter exógeno. De acuerdo al *Economic Research Service* (ERS) del USDA estos factores son⁷²:

- El fuerte crecimiento económico mundial, especialmente en los países en desarrollo y particularmente en China e India y otros del Sudeste Asiático, con su impacto en la demanda de alimentos.
- La diversificación en el consumo de alimentos en estos países, en donde al aumento en el consumo per cápita de alimentos básicos se agrega un mayor consumo de carnes, lácteos y aceites vegetales, con su consecuente impacto en la demanda de cereales y oleaginosas.
- El aumento de la población mundial (alrededor de 75 millones de personas por año).
- El crecimiento mundial del precio del petróleo y su impacto en los costos de producción agrícola (combustibles fósiles, fertilizantes, pesticidas, transporte).
- La depreciación mundial del dólar y su impacto positivo en las importaciones mundiales de *commodities* agrícolas.

⁷² El orden de los factores sigue la explicación cronológica del estudio del ERS (2008), que va agregándolos en función del transcurso de la actual década.



- La demanda creciente de materias primas destinadas a la producción de biocombustibles.
- La participación creciente de los fondos de inversión (de índice, de cobertura y de riqueza soberana) en los mercados de *commodities* agrícolas.
- Las condiciones climáticas adversas acontecidas en diversos países y regiones productoras en 2006 (Australia, Rusia, Ucrania y Sudáfrica) y 2007 (Norte y Sudeste de Europa, Ucrania, Rusia, EE.UU., Canadá, Noroeste de África, Australia y Argentina), que provocaron 2 caídas consecutivas en el rendimiento medio mundial de los cereales y oleaginosas⁷³.
- Desde 2007, el aumento de las importaciones por parte de algunos países importadores de cereales y oleaginosas, a pesar de los precios récord, a los efectos de cubrirse de futuros incrementos⁷⁴.
- Las políticas de diversos países exportadores de determinados *commodities* agrícolas (China, Argentina, Rusia, Kazakstán, Ucrania, India, Malasia e Indonesia, entre otros) que desde 2007 tendieron a limitar los incrementos domésticos en el precio de los alimentos a través de: eliminación de subsidios a la exportación, establecimiento o aumentos de los impuestos a las exportación, restricciones cuantitativas a la exportación y prohibiciones de exportación.
- Las decisiones adoptadas desde 2007 por diversos países importadores de determinados *commodities* agrícolas, que en algunos casos adoptaron reducciones en los aranceles a la importación (UE, India, Corea del Sur e Indonesia, entre otros) y en otros subsidios al consumo de alimentos (Venezuela y Marruecos), elementos que estimularon la demanda a pesar de los precios récord.

Además de estos factores, el ERS menciona otras tendencias de más largo plazo, como el impacto del cambio climático en la producción agrícola, que considera que aún no es claro; la menor I+D agrícola por parte de las instituciones gubernamentales e internacionales, que podría haber contribuido al lento crecimiento en los rendimientos durante los últimos 20 años; la mayor dificultad gradual en las habilidades para obtener agua para la agricultura.

Existe un alto grado de disenso con respecto al grado de contribución que tuvo cada uno de estos factores en el aumento en los precios de los alimentos, principalmente en el caso de los fondos especulativos, a los que diversos expertos asignaron la mayor responsabilidad, especialmente desde fines de 2007⁷⁵, y en el impacto de la demanda de materias primas para biocombustibles.

Como se desprende de las estadísticas citadas en la sección 9.2, el consumo de *commodities* para la producción de biocombustibles representó en 2007 una baja participación en la oferta global de cereales (4,5% o 3%, considerando los granos destilados obtenidos en la producción de etanol) y aceites vegetales (5,9%), como así también en el área mundial utilizada para producir cereales, oleaginosas anuales y algodón (1,3%). Al mismo tiempo, la abrupta caída de los precios mundiales de los *commodities*, incluyendo a los agrícolas, a partir de la acentuación y estallido de la crisis financiera mundial brinda indicios robustos de que el comportamiento de los precios entre 2007 y 2008 estuvo significativamente dominado por el accionar de

⁷³ De acuerdo al ERS, esta situación de 2 caídas consecutivas en el rendimiento mundial de granos se registró solo 4 veces en los últimos 37 años.

⁷⁴ De acuerdo al ERS, algunos de estos países que usualmente importaban cantidades de granos suficientes para cubrir sus necesidades para los siguientes 3-4 meses comenzaron a importar cantidades para cubrir sus necesidades para los siguientes 5-10 meses. Se trata de países con altos niveles de stocks de reservas de divisas extranjeras (exportadores de petróleo, China, Japón y otros países asiáticos).

⁷⁵ Para una detallada descripción del impacto de los fondos especulativos en los mercados de *commodities*, véase: Masters, M. "Testimonio ante el Comité de Seguridad Interna y Asuntos Gubernamentales de Estados Unidos". Mayo de 2008. Bolsa de Cereales de Rosario. Disponible en:

<http://www.bcr.com.ar/Publicaciones/serie%20de%20lecturas/Michael%20Masters%20ante%20el%20comit%C3%A9%20de%20seguridad.pdf>



una burbuja especulativa en el mercado⁷⁶. Al respecto, vale mencionar como ejemplo, el caso del arroz que, sin ser demandado para la producción de biocombustibles y sin ser desplazado por otras materias primas para dicho fin, registró una duplicación de su precio internacional en unos pocos meses durante el primer semestre de 2008.

No obstante, el impacto de la demanda de etanol ha sido considerable en el mercado de maíz de EE.UU. (26% de la producción de maíz en 2007-08; 33% proyectado para 2008-09), principal exportador mundial del cereal y formador de precios en el mercado mundial. De acuerdo al citado estudio del ERS, el aumento en la producción de etanol y el cambio significativo en la estructura del mercado de maíz en este país, tuvieron un impacto más pronunciado en el balance de oferta y demanda mundial para el total de granos forrajeros, y parte de los precios más altos resultantes del incremento en la demanda estadounidense se derramaron sobre los mercados mundiales durante la fase de crecimiento de los precios en 2007 y 2008.

También ha sido relevante el impacto en la oferta de aceites vegetales de la UE, en donde el 39,7% de la producción se destinó al procesamiento de biodiesel. De todos modos, en este caso el impacto en los precios mundiales de los aceites vegetales habría sido menos significativo que el del etanol estadounidense de maíz, teniendo en cuenta que la participación de la UE es del 9% en el consumo e importación mundial de aceite de soja, del 10% y 15%, respectivamente, en el consumo e importación mundial de aceite palma, y que el consumo mundial de aceite de colza - del cual la UE explica el 42%, al tiempo que utiliza esta materia prima predominantemente para producir biodiesel – representa menos del 15% del consumo mundial de los 17 principales aceites y grasas.

En el caso del impacto del etanol de caña en el mercado mundial de azúcar, el explosivo crecimiento de la capacidad instalada del sector sucro-alcoholero brasileño (en donde el 67% de las usinas son mixtas) habría generado una presión bajista, dando lugar a que disminuya el precio del azúcar durante el período de análisis, pese a que Brasil destina más del 50% de la caña para producir etanol. Otros argumentos plantean que la participación del bioetanol de caña de azúcar como causa de desequilibrios y movimientos de precios es marginal, debido a que el área que se requeriría para sustituir un 10% del consumo mundial de gasolina con bioetanol de caña se ubicaría en 23 millones de hectáreas, equivalentes al 1,5% del área cultivada o 0,2% del área agro-cultivable del planeta (BNDES-CGE, 2008).

Más allá de la discusión sobre el impacto de la demanda actual de materias primas para biocombustibles en los precios mundiales de los *commodities* agrícolas, el hecho de que el consumo de biocombustibles en EE.UU. y la UE aún esté muy por debajo de las metas previstas para el mediano plazo prevé, *ceteris paribus*, un impacto creciente en los próximos años, especialmente en el caso del maíz en EE.UU., en donde el Estándar de Combustibles Renovables (RFS) del etanol convencional irá creciendo en los próximos años, hasta situarse en 2015 en un nivel 67% mayor al RFS actual.

La presión alcista sobre los precios de los cereales y oleaginosas de mayor uso en la producción de biocombustibles también se extendería hacia otros cultivos que podrían ser desplazados por éstos, como así también a los precios de la tierra.

⁷⁶ Un reciente artículo sobre la crisis financiera internacional y su impacto en las *commodities* agrícolas, publicado por la Bolsa de Cereales de Rosario resume claramente la dinámica sobre la que descansa dicha hipótesis: "Fueron los fondos especulativos los que primeramente encontraron en las materias primas agrícolas un resguardo para sus inversiones en un mercado en el que el dólar perdía valor frente a las demás monedas y las tasas de interés bajaban. La participación de estos fondos fue creciendo y el mercado dejó de lado los elementos fundamentales para crear una burbuja a partir del mayor flujo de recursos que de los mercados financieros se orientaron a los agrícolas. Los cambios del contexto internacional motivaron correcciones en los precios, con importantes bajas en las *commodities* agrícolas por el egreso de los fondos y la incertidumbre sobre las perspectivas futuras."

En el análisis del impacto de los biocombustibles sobre los precios de los productos básicos agrícolas y de alimentos resulta relevante distinguir entre el corto plazo y el mediano-largo plazo. De acuerdo a FAO, en el corto plazo el aumento de los precios de los *commodities* agrícolas determinaría efectos negativos en la seguridad alimentaria en países en desarrollo importadores netos de alimentos, en hogares urbanos pobres y en hogares rurales pobres que sean compradores netos de alimentos (lo cual determina la fuerte necesidad de establecer redes de seguridad adecuadas para asegurar el acceso de las poblaciones pobres a los alimentos). Por su parte, en el mediano a largo plazo, la demanda creciente de biocombustibles y el aumento de los precios de los productos básicos agrícolas ofrece la posibilidad de una respuesta de los suministros y de fortalecer y revitalizar el papel de la agricultura como motor de crecimiento en los países en desarrollo (FAO, 2008c).

Asimismo, existen diversos factores en condiciones de atenuar significativamente el impacto específico de los biocombustibles en los precios de los *commodities* agrícolas y en los alimentos. Algunos de ellos forman parte de la lógica del funcionamiento de los mercados, mientras que otros dependen de decisiones de política en los principales productores mundiales. Entre estos factores se destacan los siguientes (Ganduglia, 2008):

- Aumento de la oferta de co-productos y subproductos de la producción de biocombustibles: un factor pocas veces mencionado en las posiciones más críticas a los biocombustibles es el impacto de los co-productos y subproductos de la producción de etanol (granos destilados, gluten feed, bagazo de caña) y biodiesel (harinas proteicas), cuya producción crecerá sustancialmente a medida que crezca la producción de estos biocombustibles y/o la capacidad instalada para producir alcohol y aceites vegetales. En el caso del etanol de maíz, por cada tonelada utilizada de grano en su producción, se obtienen 290 kilos de granos destilados, que retornan al circuito de alimentación animal⁷⁷. En el caso del biodiesel, el aumento previsto en la producción de aceites vegetales, implica un crecimiento significativo en la oferta de harinas proteicas, y una consecuente presión bajista sus precios que atenuaría las tensiones generadas en la producción pecuaria por los eventuales mayores precios de los granos forrajeros.
- El potencial de expansión agrícola en determinados países y regiones: De acuerdo a FAO (2002) hay pocas pruebas que sugieran que vaya a haber en el futuro escasez de tierra a nivel mundial. Actualmente existen en el mundo unos 1.560 millones de hectáreas en uso agrícola (labrantío y cultivos permanentes), y se considera que existen en el mundo unos 2000 millones de hectáreas adicionales potencialmente aptas para la producción de cultivos en secano (FAO-IIASA). Excluyendo bosques, áreas protegidas y tierras necesarias para satisfacer la demanda creciente de ganado y cultivos para alimentación, la cifra aproximada de las tierras potencialmente disponibles para aumentar la producción de cultivos se ubicaría entre 250 y 800 millones de hectáreas, la mayoría de las cuales se encuentran en las zonas tropicales de América Latina y en África (Fischer, citado por Cotula et al, 2008). Con Brasil a la cabeza, algunos países latinoamericanos (ver sección 9.2.1) y africanos presentan posibilidades de expandir su frontera agrícola, con lo cual parte de la producción agrícola desviada a la producción de biocombustibles podría compensarse con estas expansiones.
- El nivel y grado de flexibilidad de las metas de sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles: los biocombustibles representan un complemento dentro de una amplia variedad de fuentes alternativas de energías renovables. Desplazar totalmente el consumo mundial de combustibles fósiles con la

⁷⁷ De acuerdo a estadísticas divulgadas por la Renewable Fuels Association, las plantas estadounidenses de etanol produjeron 14,6 millones de toneladas de granos destilados en 2007. El 84% de esta producción tuvo como destino la alimentación de animales rumiantes (42% ganado lechero y 42% ganado de carne, respectivamente), mientras que el resto se distribuyó en ganado porcino (11%) y aviar (5%). Es importante señalar que las posibilidades de incorporación de los granos destilados a la dieta animal son más elevadas en el caso de los bovinos. En el caso de la ganadería porcina y aviar, por tratarse de mono-gástricos, la incorporación de los granos destilados a la dieta resulta más limitada debido a la alta variabilidad de su composición.



primera generación de biocombustibles resultaría totalmente inviable. Incluso una sustitución del 20% o 25% también lo sería bajo las condiciones tecnológicas actuales. Las metas vigentes establecidas en los diversos países, incluyendo obviamente a las más ambiciosas, en EE.UU. y la UE, fueron establecidas sin ningún tipo de coordinación global. La evolución futura en los precios de los *commodities* y de los alimentos podría requerir una revisión de dichas metas y un mayor gradualismo y coordinación global en la definición de sus niveles.

➡ Los necesarios cambios en las intervenciones del mercado: la apertura de los principales mercados de biocombustibles resulta fundamental para descomprimir las tensiones sobre el precio de las materias primas. Los elevados aranceles a la importación de etanol aplicados en EE.UU. y la UE limitan las posibilidades de una mayor eficiencia en la utilización global del recurso tierra. En el caso de EE.UU., por ejemplo, en condiciones de libre comercio de etanol se estaría reemplazando, en parte, etanol de maíz que rinde 3.800 lts/ha, por etanol de caña brasileño que presenta un rendimiento de 7000 lts/ha. En este caso, el libre comercio de etanol atenuaría el impacto en los precios mundiales del maíz y también liberaría tierras para los cultivos o actividades pecuarias originalmente desplazados por la expansión del maíz. Por otro lado, una reducción de las enormes sumas que representan los subsidios a la producción de biocombustibles en EE.UU. y la UE también reduciría distorsiones en el mercado, dando lugar también a una mayor eficiencia en el uso del recurso tierra a nivel mundial.

➡ Reducción de la brecha de competitividad de los biocombustibles de primera generación frente a la de los biocombustibles de próximas generaciones. Teniendo en cuenta la alta participación de la materia prima en el costo de producción de los biocombustibles, un alza persistente en los precios de las materias primas de disponibilidad inmediata utilizadas actualmente, afectaría la competitividad de los biocombustibles de primera generación. Ello aceleraría la transición hacia la producción de biocombustibles elaborados con materias primas lignocelulósicas (biocombustibles de 2° generación) o a partir de cultivos y materias primas menos sensibles a la competencia con la producción de alimentos (biocombustibles de generación 1,5). El avance hacia estas generaciones de biocombustibles, y las siguientes, resultará fundamental para desterrar por completo los riesgos del dilema biocombustibles vs. alimentos.

➡ El impacto de la investigación y el desarrollo tecnológico: tanto la I+D+i orientada a las materias primas y procesos de producción de biocombustibles, como la orientada a la producción de alimentos, jugarán un papel clave en términos de aumentos en los rendimientos⁷⁸, mejora y/o desarrollo de procesos productivos y tecnologías de conversión más eficientes, producción conjunta de cultivos para alimentación y para biocombustibles⁷⁹, aprovechamiento de materias primas no alimentarias y/o de tierras marginales, etc. Todos estos avances también darían lugar a una mayor productividad y a usos más eficientes de la tierra⁸⁰, contribuyendo a aminorar la presión alcista en los precios de las *commodities* alimentarias.

⁷⁸ La importancia del incremento de los rendimientos en la seguridad alimentaria queda claramente reflejada en el siguiente ejemplo: entre principios de la década del 60 y fines de la del 90, el crecimiento de la productividad redujo la cantidad de tierra necesaria para producir una cantidad dada de alimentos en un 56% aproximadamente. Esta reducción fue posibilitada por aumentos de los rendimientos y de las intensidades agrícolas que permitieron aumentar la producción de alimentos. Así, pese a que durante ese período la tierra de cultivo creció apenas el 11% ante casi una duplicación de la población mundial, se produjo una mejora considerable en los niveles de nutrición y una disminución en el precio real de los alimentos (FAO, 2002).

⁷⁹ Al respecto puede mencionarse como un ejemplo promisorio a la creciente práctica de cultivos intercalados o *inter siembra*, con casos como el de los agricultores brasileños del Nordeste, que siembran ricino en forma intercalada con el frijol, lo cual permite la producción conjunta de alimentos y materias primas para biocombustibles.

⁸⁰ Un buen ejemplo del impacto de la eficiencia tecnológica sobre el uso de la tierra es el del proceso de tecnificación y densificación de la producción de carne y leche en Brasil, que en los últimos años y como resultado del mejor manejo de las áreas de pasto y de su cultivo con forrajes de mayor calidad, sostuvo un mayor número de animales por hectárea, liberando tierras para otros fines (BNDES-CGE, 2008). En este país, en las últimas dos décadas, se redujo un 4% el área de pastos de las propiedades rurales, al

En el caso específico de Sudamérica, especialmente en los países de la Región Sur, las posibilidades de un conflicto entre la producción de biocombustibles y la de alimentos parecen a priori reducidas, teniendo en cuenta los elevados saldos exportables que los diversos países poseen en sus materias primas de disponibilidad inmediata y su significativo potencial de expansión agrícola.

Con respecto a la disponibilidad de saldos exportables, vale señalar algunas excepciones que sí presentan restricciones como el del etanol a partir de cereales en Chile, Bolivia y los países de la región andina, etanol a partir de caña de azúcar en Venezuela, Chile y Uruguay, biodiesel de aceite de soja en los países de la región andina o biodiesel de aceite de palma en Venezuela y en Perú y en los países de la región sur. No obstante, a excepción de Chile y, hasta cierto punto Ecuador, el resto de los países de la región cuentan con un alto potencial de expansión de sus fronteras agrícolas, determinado por su dotación de tierras apropiadas para el cultivo, con lo cual las restricciones mencionadas podrían ser superadas en el mediano-largo plazo.

Teniendo en cuenta su disponibilidad actual (altamente excedentaria) y potencial de recursos alimentarios, el problema alimentario de la región no está relacionado con la producción de alimentos, sino con el acceso a los mismos, el cual está determinado a su vez por los niveles de pobreza y desigualdad. Si bien podría argumentarse que el acceso a los alimentos es un problema de distribución del ingreso, ajeno a los biocombustibles, no puede obviarse el posible impacto que sobre esta dimensión supondría un incremento en el nivel de precios de los alimentos.

Al respecto, FAO plantea que en el corto plazo es muy probable que la rápida expansión de la producción de biocombustibles en el mundo podría tener efectos importantes en el sector agrícola en América Latina, ocasionando cambios en la demanda, en el comercio exterior, en la asignación de insumos productivos (tierra, agua, capital, etc.) y, finalmente, un aumento en los precios de los cultivos energéticos y tradicionales, que pondría en riesgo el acceso a los alimentos para los sectores más pobres (FAO 2008a).

En relación con dicho planteo, resulta importante distinguir entre los distintos tipos de materias primas para biocombustibles y su incidencia en la dieta básica de los seres humanos. Así, mientras los cereales forman parte de la base de la pirámide alimentaria; las grasas, aceites y dulces (alimentos con alta concentración de azúcar) se encuentran en la punta de dicha pirámide, entre los alimentos que se recomienda consumir en forma reducida o con moderación.

Por otro lado, de acuerdo a FAO, los programas de biocombustibles pueden representar una oportunidad si se enfocan en la pequeña agricultura con poca capacidad de acceso a mercados: con la creación de nuevos mercados y la integración del pequeño agricultor en la cadena productiva, las familias campesinas recibirían ingresos mayores y más estables. Para que esto sea posible, corresponde a los gobiernos crear políticas y mecanismos de apoyo adecuados (financieros, tecnológicos, organizacionales, etc.) que garanticen y promuevan el acceso a los alimentos a los sectores más vulnerables (FAO 2008a).

Las recomendaciones políticas de la FAO en materia de seguridad alimentaria siguen siendo de aplicación en el contexto de los biocombustibles. En particular, esta institución considera que, a los efectos de generar garantías de seguridad alimentaria, se deben adoptar políticas que⁸¹:

- favorezcan las tecnologías que pueden reducir la competencia con el suministro de alimentos, en particular la bioenergía que reutilice los desechos orgánicos y los residuos;

tiempo que el tamaño del rebaño se amplió en un 32% y la producción de leche creció un 67% (IBGE, 2008, citado por BNDES-CGE, 2008).

⁸¹ FAO (2008e).

- apoyen el desarrollo de la tecnología de segunda generación mediante la utilización de material lignocelulósico y la producción de materia prima en tierras que no sean aptas para la producción de alimentos;
- evalúen la vulnerabilidad socioeconómica y las consecuencias sobre los medios de vida de las comunidades afectadas por la producción de biocombustibles, por ejemplo, las relaciones laborales y los sistemas de gestión y tenencia de la tierra;
- desalienten la aplicación de patrones de cultivo a gran escala en zonas en las que hay mucha pobreza, falta de tierras, conflictos por ellas o inseguridad respecto de su tenencia;
- eviten el cultivo de materias básicas que precisan de mucha agua y los métodos de producción en los entornos en los que hay pocos recursos hídricos;
- establezcan umbrales máximos para la producción de biocombustibles que se basen en las evaluaciones de los riesgos y la vulnerabilidad locales;
- creen mecanismos de toma de decisiones sobre la producción de biocombustibles en los que participen múltiples partes interesadas, tanto en el ámbito nacional como en el local.

9.3.2 Biocombustibles y sustentabilidad ambiental

9.3.2.1 Agricultura y medioambiente

Uno de los principales argumentos que ha dado lugar al impulso y uso de los biocombustibles en el mundo se basa en su potencialidad para generar mejoras ambientales a partir de la reducción de emisiones de GEI. Sin embargo, en los últimos años han surgido controversias y un profundo debate en torno al impacto ambiental del desarrollo de la cadena mundial de biocombustibles. Los cuestionamientos apuntan principalmente al valor medioambiental de los biocombustibles de primera generación y, en menor medida, al de los de segunda generación.

Los aspectos ambientales en debate tienen que ver con:

- a) Los riesgos y eventuales externalidades negativas asociados usualmente a determinadas prácticas de la agricultura convencional;
- b) La eficiencia energética y ambiental de los biocombustibles producidos a partir de diversas materias primas⁸² (ver sección 9.3.2.2).

Con respecto al primer punto, un desarrollo desordenado de los cultivos energéticos para satisfacer los requerimientos de materias primas para biocombustibles podría dar lugar a procesos no sustentables de expansión de la frontera agrícola o de intensificación de la producción, con consecuencias negativas para el ser humano y el medio-ambiente (Tabla 9.3.2.1).

⁸² La eficiencia energética se refiere a la energía generada por el biocombustible y, según la metodología, sus co-productos o subproductos - en relación con la energía utilizada para su producción, a lo largo de toda la cadena o ciclo de vida del producto. La eficiencia ambiental se refiere a la reducción de GEI por parte de los biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles, considerando las emisiones de GEI a lo largo de toda la cadena e incluyendo los efectos del cambio en el uso de tierras.

Tabla 9.3.2.1: Prácticas comunes en la agricultura convencional y sus consecuencias

Prácticas comunes	Consecuencias
Deforestación	Pérdida de biodiversidad
Aradas y rastreadas continuas	Pérdida de la fertilidad del suelo y disminución de los rendimientos
Remoción o quemado de residuos de cultivos	Erosión
Monocultivos	Mayores riesgos de sequía e inundaciones
Excesivo uso de fertilizantes	Inseguridad alimentaria y riesgos sanitarios
Uso incorrecto de pesticidas	Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas
Uso incorrecto del agua	Contaminación y degradación de los suelos
	Liberación de gases de efecto invernadero
	Invasión de plagas

Fuente: FAO

Los procesos no sustentables de expansión de la frontera agrícola, basados en la deforestación y/o el avance de los monocultivos a gran escala, generan un impacto negativo sobre la biodiversidad silvestre y agrícola. A su vez, el avance de la agricultura sobre terrenos forestales puede liberar grandes cantidades de carbono, dando lugar a un aumento en las emisiones de GEI que tomaría años recuperar mediante la reducción de las emisiones que resulte de la sustitución de biocombustibles por combustibles fósiles (FAO 2008c). El proceso de expansión de la frontera agrícola en varios países de la región, acontecido desde principios de la década del noventa, registra antecedentes relevantes de desmonte de bosques nativos, con la consecuente pérdida de biodiversidad silvestre, como así también de extensión de monocultivos a gran escala, con la consecuente pérdida de biodiversidad agrícola. Estos procesos han estado asociados a diversas actividades agropecuarias y forestales, entre ellas el cultivo de soja en los países de la Región Sur y el de palma aceitera en los principales productores de la Región Andina.

Los procesos de intensificación tienen como ventaja la posibilidad de incrementar los rendimientos de los cultivos y su producción, sin generar presiones sobre la biodiversidad. Sin embargo, si estos se basan en prácticas agrícolas inadecuadas, tales como labranza convencional (aradas y rastreadas continuas), falta de rotación de cultivos, remoción o quemado de residuos agrícolas, excesivo o inadecuado uso de fertilizantes, uso incorrecto de pesticidas o uso incorrecto del agua, las consecuencias son sumamente negativas en términos de erosión, agotamiento de nutrientes y pérdida de fertilidad del suelo y su capacidad futura de producción agrícola, de contaminación del aire, del agua y del suelo, como así también en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. Como se detalla más adelante, la agricultura sudamericana se desarrolla bajo prácticas conservacionistas y ambientalmente sustentables en una muy elevada proporción de su superficie cultivada, con los países de la Región Sur liderando las estadísticas de agricultura de conservación a nivel mundial. No obstante, determinadas prácticas y situaciones concretas en determinados países y/o zonas requieren ser atendidas y superadas, tales como el desarrollo de monocultivos a gran escala y la falta de planes ordenados de rotaciones de cultivos -con su impacto en términos de degradación de los suelos-, el uso intensivo de agroquímicos - con su impacto en la calidad del suelo, el aire y el agua - la quema de follaje de la caña de azúcar, que genera GEI, o la introducción de cultivos foráneos, que podría generar la aparición de nuevas enfermedades, malezas y plagas.

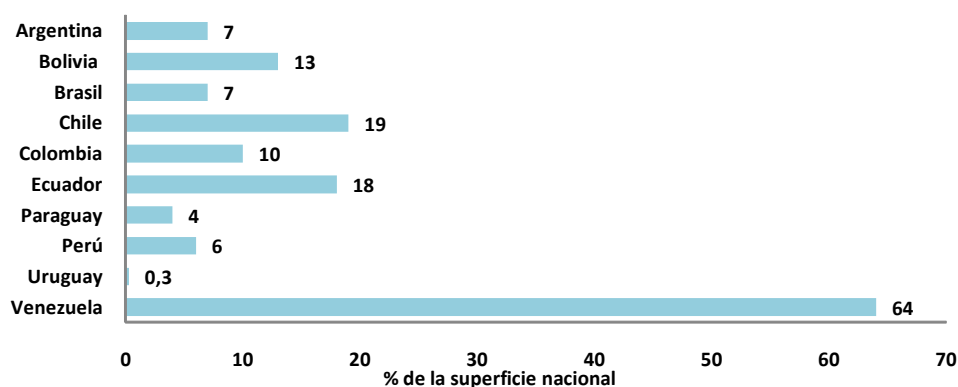
En relación con lo anterior, el concepto de sustentabilidad adquiere un rol crucial. En un sentido amplio, la agricultura sostenible se define como un sistema económicamente viable, tecnológicamente adecuado, socialmente aceptable y ambientalmente sano, en un contexto de políticas favorables (IICA, 2000). Desde el plano estrictamente ambiental, la sustentabilidad de la agricultura está asociada a la preservación del medio ambiente y a la conservación de los recursos productivos, a través de instrumentos como el Ordenamiento Territorial y la zonificación agroecológica, y de sistemas de producción sustentables como la *agricultura de conservación* (ver más abajo).

Tanto desde el punto de vista de los riesgos ambientales vinculados a los procesos de expansión de la frontera agrícola, como de los vinculados a la intensificación, los países sudamericanos cuentan en general con herramientas legales y con importantes experiencias en agricultura de conservación, cuyo perfeccionamiento y mayor aplicabilidad y/o difusión resultaría fundamental para minimizar las eventuales externalidades negativas que podría suponer sobre el medio-ambiente la expansión de la producción agrícola para biocombustibles.

Expansión de la frontera agrícola y sustentabilidad ambiental

Los países de la región disponen de legislaciones y/o planes y programas de ordenamiento territorial (OT)⁸³ - muchas de ellas con recientes e importantes avances, como en el caso de Argentina, Uruguay y Venezuela⁸⁴ - dependencias institucionales que se ocupan del desarrollo territorial, ministerios e instituciones encargadas de la gestión ambiental, leyes ambientales, códigos forestales y áreas naturales protegidas que apuntan, entre otros objetivos, a la conservación y gestión responsable de los recursos naturales, a la protección ambiental y a la utilización racional del territorio.

Gráfico 9.3.2.2: Áreas silvestres protegidas de países de América del Sur (Categorías I-VI según clasificación de UICN) en proporción a las superficies nacionales. 2003



Fuente: WRI, 2003 (basado en datos del PNUMA-CMVC, UNESCO, UICN, CITES)

Es importante señalar que entre 1997 y 2007, la superficie de áreas protegidas en Latinoamérica se duplicó, pasando de 160 a 300 millones de hectáreas. De este total, alrededor de 270 millones de hectáreas protegidas se concentran en América del Sur. Durante este período se produjeron progresos relevantes en los marcos conceptuales, normativos e institucionales de conservación y protección de la biodiversidad, a través de legislaciones, planes y programas sobre ordenamiento territorial y leyes específicas para áreas protegidas, aumento en la jerarquía de los organismos competentes en la conservación (incluyendo la creación de ministerios de ambiente), avances en el surgimiento de subsistemas de áreas protegidas (nivel provincial,

⁸³ De acuerdo a la FARN (Fundación Ambiente y Recursos Naturales), el ordenamiento territorial busca definir la distribución geográfica en el territorio de las áreas agrícolas, ganaderas, forestales, centros productivos y de comercialización y las áreas de protección, así como los enlaces y las interconexiones entre estas actividades. Esto permitirá controlar el crecimiento espontáneo de las actividades humanas, para evitar los problemas y desequilibrios que provoca, guiándose por un principio fundamental: toda actuación debería situarse allí donde se maximice la capacidad o aptitud del territorio para acogerla y, a la vez, se minimice el impacto negativo o efecto adverso de la actuación sobre el medio ambiente (FARN, 2007).

⁸⁴ Argentina: Ley 26.331, de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos (2007); Uruguay: Ley 18.308, de Ordenamiento Territorial Sostenible (2008); Venezuela: Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (2006).

municipal y privado) y en el desarrollo de procesos participativos con las comunidades locales, creación en algunos países de Fondos Nacionales para conservación (tendientes a compensar a las jurisdicciones por los servicios ambientales de los bosques nativos conservados), entre otros.

A título de ejemplo, merecen señalarse algunas experiencias y avances recientes en países de la región, tendientes a coordinar el ordenamiento territorial con la expansión de la frontera agrícola, que podrían resultar fundamentales en cuanto al establecimiento de límites y a la generación de una expansión sustentable de la misma ante el previsto incremento de la demanda de materias primas para biocombustibles.

En Argentina se promulgó a fines de 2007 la Ley de *Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos* (aún no reglamentada al cierre del presente estudio), cuyos objetivos son: a) promover la conservación mediante el Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos y la regulación de la expansión de la frontera agropecuaria y de cualquier otro cambio de uso del suelo; b) regular y controlar la disminución de la superficie de bosques nativos existentes, tendiendo a lograr una superficie perdurable en el tiempo; c) mejorar y mantener los procesos ecológicos y culturales en los bosques nativos que benefician a la sociedad; d) mantener bosques nativos cuyos beneficios ambientales o los daños ambientales que su ausencia generase, aún no puedan demostrarse con las técnicas disponibles en la actualidad; e) fomentar las actividades de enriquecimiento, conservación, restauración, mejoramiento y manejo sostenible de los bosques nativos. Entre sus disposiciones, esta Ley establece que todas las provincias argentinas deberán efectuar, con un plazo máximo de un año a partir de su sanción, un ordenamiento territorial de los bosques nativos⁸⁵. Al respecto la ley establece tres categorías de conservación para el ordenamiento territorial de los bosques nativos⁸⁶, el cual deberá basarse en criterios de sustentabilidad ambiental para la determinación del valor ambiental de las distintas unidades de bosque nativo y de los servicios ambientales que éstos presten⁸⁷. La Ley crea también el Fondo Nacional para el Enriquecimiento y la Conservación de los Bosques Nativos, con el objeto de compensar a las jurisdicciones que conservan los bosques nativos, por los servicios ambientales que éstos brindan.

En Brasil, el Gobierno está desarrollando la *Zonificación Agroecológica* de la caña de azúcar, a los efectos de generar informaciones técnicas que permitan al Gobierno definir políticas específicas e inducir la expansión sostenible de la caña de azúcar. Los objetivos de la zonificación agroecológica consisten en: a) identificar áreas con potencial agrícola (suelo y clima) para el cultivo de la caña de azúcar con cosecha mecánica; b)

⁸⁵Las provincias que no lo realicen no podrán autorizar desmontes ni ningún otro tipo de utilización y aprovechamiento de los bosques nativos. Durante el transcurso del tiempo entre la sanción de la Ley y la realización del OT por parte de cada provincia tampoco se podrán autorizar desmontes.

⁸⁶Las categorías de conservación previstas son:

Categoría I (rojo): sectores de muy alto valor de conservación que no deben transformarse. Incluirá áreas que por sus ubicaciones relativas a reservas, su valor de conectividad, la presencia de valores biológicos sobresalientes y/o la protección de cuencas que ejercen, ameritan su persistencia como bosque a perpetuidad, aunque estos sectores puedan ser hábitat de comunidades indígenas y ser objeto de investigación científica. No podrán autorizarse desmontes de bosques nativos clasificados en esta categoría.

Categoría II (amarillo): sectores de mediano valor de conservación, que pueden estar degradados pero que a juicio de la autoridad de aplicación jurisdiccional con la implementación de actividades de restauración pueden tener un valor alto de conservación y que podrán ser sometidos a los siguientes usos: aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación científica. No podrán autorizarse desmontes de bosques nativos clasificados en esta categoría.

Categoría III (verde): sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad aunque dentro de los criterios de la presente ley.

⁸⁷Los criterios de sustentabilidad para la estimación del valor de conservación se basan en: 1. Superficie. 2. Vinculación con otras comunidades naturales. 3. Vinculación con áreas protegidas existentes e integración regional. 4. Existencia de valores biológicos existentes. 5. Conectividad entre eco regiones. 6. Estado de conservación. 7. Potencial forestal. 8. Potencial de sustentabilidad agrícola. 9. Potencial de conservación de cuencas. 10. Valor que las comunidades indígenas y campesinas dan a las áreas boscosas o sus áreas colindantes y el uso que pueden hacer de sus recursos naturales a los fines de su supervivencia y el mantenimiento de su cultura.



identificar las áreas con potencial de cultivo actualmente utilizadas con pastajes; c) identificar las áreas potenciales que no tengan restricciones ambientales. La zonificación agroecológica de la caña de azúcar constituye una iniciativa de carácter estructural y preventiva, pionera a nivel nacional (Cid Caldas, 2008). En línea con esta iniciativa, a fines de 2008 funcionarios del gobierno brasileño manifestaron públicamente la inminente exclusión de la Amazonia, del Pantanal y de áreas con vegetación nativa, de las localizaciones donde podrá ser plantada la caña.

Otra iniciativa brasileña sin antecedentes, en este caso originada desde el sector privado, es la denominada *Moratoria de la Soja en la Amazonia*, lanzada en 2006 por la Asociación Brasileira de Industrias de Aceites Vegetales (ABIOVE) y la Asociación Nacional de los Exportadores de Cereales (ANEC). Estas entidades asumieron el compromiso de implementar un programa de gobernanza cuyo objetivo es no comercializar, por el período de dos años (prorrogado por un año más, a mediados de 2008), soja producida en áreas deforestadas de la Amazonia, a los efectos de frenar la deforestación en dicha región. El sector se comprometió a trabajar en conjunto con organismos gubernamentales durante dicho período con el objeto de: a) elaborar e implementar un sistema de mapeo y monitoreo de los avances de la deforestación relacionados con la producción de soja en la Amazonia; b) perfeccionamiento de las relaciones institucionales y la legislación para mejorar el control de la deforestación y el desarrollo de la producción de soja en la Amazonia, colaborando y animando al Gobierno a la aplicación de políticas públicas y al cumplimiento de las leyes.

Vale señalar que de acuerdo algunos observadores el marco legal establecido por Brasil para la silvicultura y la protección del medio ambiente se encuentra entre los más avanzados del mundo (ORNL, 2008). En este marco, y con el objeto de reducir la deforestación, se requiere a los propietarios privados de la tierra mantener parte de su propiedad como reservas forestales (entre el 20% y el 80% dependiendo de la localización) y proteger todas las áreas ripiarias (ORNL, 2008).

En Colombia, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y la Federación Nacional de Cultivadores de Palma (Fedepalma), con el aval de los Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Agricultura y Desarrollo Rural, están llevando a cabo una iniciativa que busca implementar prácticas sostenibles con los ecosistemas colombianos y que eviten la deforestación en áreas identificadas como de Alto Valor de Conservación (AVC)⁸⁸ y que, al mismo tiempo, mejoren las condiciones de vida de las comunidades étnicas y campesinas que trabajan en el sector, todo ello, de acuerdo con los lineamientos de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO). El proceso de identificación de AVC, a su vez, constituye un insumo para la identificación de áreas con alta sensibilidad ambiental, social y cultural en el ejercicio de actualización del Mapa de Zonificación de Áreas aptas para el cultivo de la palma de aceite en Colombia con criterios ambientales, en el marco del Proyecto de Zonificación de Áreas de aptitud para el cultivo de la palma de aceite (IGAC- MAVDT-IDEAM-Cenipalma, con el apoyo técnico del IAvH y WWF).

A los efectos de garantizar una expansión sustentable de la producción de materias primas para biocombustibles, a futuro resultarán fundamentales los avances de los países en materia de consolidación de la institucionalidad y de las políticas y programas de ordenamiento territorial y ambiental y de zonificación agroecológica - económica, como así también la coordinación de las mismas con las políticas y planes sectoriales. Otro aspecto clave consiste en garantizar el cumplimiento de las disposiciones legales – muchas veces ignoradas por el proceso de expansión de las fronteras agrícolas en las últimas décadas - a través del

⁸⁸ Definiendo a las AVC como aquellas áreas con valores ambientales, socioeconómicos o culturales de importancia para las comunidades locales, la economía local y regional, y el medio ambiente local, regional, nacional o global, y considerando 6 tipos de "altos valores de conservación": Riqueza biológica, Integridad ecosistémica, Singularidad ecosistémica, Provisión de servicios ambientales para poblaciones locales/regionales, Importancia socioeconómica para poblaciones locales, Importancia cultural/religiosa para comunidades locales.

refuerzo de los aparatos institucionales en ese campo y de una mayor disponibilidad y modernización de los sistemas de control y monitoreo.

Algunos estudios de evaluación de la disponibilidad de tierra a gran escala⁸⁹ muestran primeras aproximaciones que permitirían deducir que la región cuenta con determinadas categorías de tierra sobre las que podría basarse una expansión de la frontera agrícola ambientalmente sustentable. Fischer y otros (2002) estiman, basados en imágenes satelitales (1995-1996) que el área potencialmente cultivable en Sudamérica, descontando la tierra cubierta por bosques es de 552 millones de hectáreas (de las cuales actualmente se encuentra en uso agrícola apenas el 22%, unos 120 millones de hectáreas). De ese total, 96 millones de hectáreas moderadamente apropiadas para el cultivo podrían ser consideradas marginales (FAO 2008c). Houghton (1990) estima un área total de 100 millones de hectáreas de tierra degradada en Sudamérica; mientras que Field (2007) calcula, aunque a nivel mundial, la existencia de 386 millones de hectáreas de tierra cultivable abandonada (con un margen de error mayor al 50%) (Cotula et al, 2008). FAO plantea que a pesar de que las tierras marginales o degradadas serían menos productivas y estarían sujetas a mayores riesgos, emplearlas en plantaciones para producir bioenergía podría tener beneficios secundarios tales como la restauración de la vegetación degradada, la captura de carbono y servicios medioambientales locales. No obstante, en la mayoría de los países, la idoneidad de esta tierra para la producción sostenible de biocombustibles está deficientemente documentada (FAO, 2008c).

En línea con lo anterior, resultará necesario que los países de la región avancen en el mapeo y zonificación de áreas potencialmente cultivables, tierras marginales u ociosas y áreas de alto valor de conservación, a los efectos de obtener información más concreta y detallada para una evaluación más exacta del potencial de expansión sustentable de las materias primas para biocombustibles.

Intensificación de la producción agrícola y sustentabilidad ambiental

Cuando se analiza la sustentabilidad ambiental en términos de impacto en la calidad del aire, el suelo y el agua por parte de la intensificación de la actividad agrícola, resulta determinante el tipo de sistema de producción agrícola, reflejándose un claro contraste entre la agricultura convencional y la agricultura de conservación.

La agricultura de conservación (Tabla 9.3.2.3) se presenta como una serie de técnicas que tienen como objetivo fundamental conservar, mejorar y hacer un uso más eficiente de los recursos naturales, mediante un manejo integrado del suelo, el agua, los agentes biológicos y los “inputs” externos, contribuyendo a la conservación del medio ambiente así como a una producción agrícola sostenible en el tiempo (FAO, 2001). Este sistema abarca un conjunto de prácticas agrícolas basadas en tres principios centrales (FAO):

1. Trastorno mínimo del suelo mediante labranza cero (siembra directa) o reducida para conservar la materia orgánica del suelo.
2. Cubierta permanente en el suelo (cultivos de cubierta, residuos y cubierta vegetal) para proteger el suelo del sol y la lluvia y permitir que los microorganismos y la fauna del suelo se ocupen de “arar” y mantener el equilibrio de los elementos nutritivos, procesos naturales que el arado mecánico perjudica.
3. Rotación y asociación de cultivos diversos, que promueven los microorganismos del suelo y combaten las plagas y enfermedades de las plantas.

⁸⁹ Fischer et al (2002), Field et al (2007) y Houghton (1990, citado por Field), citados por Cotula (2008).

Tabla 9.3.2.3: Conceptos y principios básicos de la Agricultura de Conservación

Concepto de Agricultura de Conservación	
La agricultura de conservación (AC) se puede definir como un concepto para una producción agrícola que conserva los recursos naturales mientras al mismo tiempo garantiza una producción a un alto nivel y con buena rentabilidad económica. AC se basa en el fortalecimiento de procesos biológicos naturales encima y debajo de la superficie del suelo. Intervenciones como la labranza mecánica del suelo están reducidas a un mínimo absoluto mientras otros insumos de origen orgánico o sintético están usados en su óptimo de una forma y cantidad que no interfiera o haga daño a los procesos biológicos.	
Principios básicos de la Agricultura de conservación	
La agricultura de conservación se caracteriza por tres principios interrelacionados:	
1. Siembra directa con la mínima alteración del suelo	La siembra directa involucra a cultivos que crecen sin la preparación mecánica de la cama de siembra o alteración del suelo desde la cosecha del cultivo anterior. El término de siembra directa en el contexto de la Agricultura de Conservación es usado como sinónimo de agricultura de no-labranza o labranza cero. La no-labranza implica cortar o aplastar las malezas y los residuos del cultivo anterior o asperjalos con herbicidas para el control de malezas y sembrar directamente a través de la capa de cobertura. Se retienen todos los residuos de los cultivos y el fertilizante se aplica durante la siembra o al voleo superficialmente.
2. Cobertura permanente de la superficie del suelo con materiales orgánicos	La cobertura permanente del suelo es importante para: - Proteger al suelo contra el impacto de la lluvia y el sol. - Proporcionar a los micro- y macro-organismos del suelo un suministro constante de "alimentos". - Alterar el microclima para un óptimo crecimiento y desarrollo de los organismos del suelo, incluyendo las raíces de las plantas. Efectos de la cobertura del suelo: - La mejora en la infiltración y la retención de la humedad del suelo resultan en un menor y más breve estrés de agua del cultivo y en un incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas. - Una fuente de alimento, hábitat y energía para las diversas formas de vida del suelo: formación de canales para el aire y el agua, la labranza biológica y del substrato para la actividad biológica mediante el reciclaje de la materia orgánica y de los nutrientes de las plantas. - Incremento de la formación de humus. - La reducción del impacto de las gotas de lluvias sobre la superficie del suelo da como resultado una reducción del encostramiento y el sellado de la superficie. - Consecuente reducción de la escorrentía y la erosión. - La regeneración del suelo es mayor que su degradación. - Atenuación de las variaciones de la temperatura sobre y dentro del suelo.
3. Rotación diversificada de cultivos en el caso de cultivos anuales o asociación de plantas en cultivos perennes	La rotación de cultivos es necesaria para ofrecer una fuente de alimentación variada a los microorganismos del suelo; dado que están ubicados a distintas profundidades del suelo, son capaces de explorar las diferentes capas de suelo en busca de nutrientes. Los nutrientes que han sido lixiviados a las capas más profundas y que no están disponibles para el cultivo comercial, pueden ser "reciclados" por los cultivos de la rotación. Esta forma de rotación de cultivos funciona como un motor biológico. Más aún, una diversidad de cultivos en rotación conduce a una diversa flora y fauna del suelo; las raíces excretan diferentes sustancias orgánicas que atraen a diferentes tipos de bacterias y hongos los cuales, a su vez, tienen una función importante en la transformación de esas sustancias en nutrientes disponibles para las plantas. La rotación de cultivos también proporciona una función importante fitosanitaria dado que previene transmisión de plagas y enfermedades específicas de un cultivo al próximo por medio de los residuos. Los efectos de la rotación de cultivos: - Mayor diversidad en la producción vegetal y, por lo tanto, en la nutrición humana y animal. - Reducción y menor riesgo de ataques de plagas y malezas. - Mayor distribución de una red de canales o bioporos creados por las diversas raíces (varias formas, tamaños y profundidades). - Mejor distribución del agua y los nutrientes a través del perfil del suelo. - Exploración de nutrientes y agua en todo el perfil del suelo por las raíces de las distintas especies, lo que resulta en un uso óptimo del agua y de los nutrientes disponibles. - Incremento de la fijación del nitrógeno mediante simbiosis entre los simbiontes de la biota planta-suelo y un mejor equilibrio de N/P/K, tanto de las fuentes orgánicas como minerales. - Incremento de la formación de humus.
Características agroambientales de la agricultura de conservación	
La pérdida del suelo no excede la tasa de formación del suelo.	
La fertilidad y la estructura del suelo se mantienen o se fortalecen.	
La biodiversidad es mantenida o fortalecida.	
Los efectos aguas debajo de la escorrentía o de la lixiviación no afectan la calidad del agua.	
La lluvia es manejada de modo de evitar un exceso de escorrentía.	
Las emisiones de gases de efecto invernadero se reducen.	
Los niveles de producción de alimentos se mantienen o mejoran.	
El cuidado y el respeto ambiental se difunden entre las comunidades rurales y los agricultores de todo tipo, asegurando continuidad de un manejo cabal de la tierra,	

Fuente: FAO - Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor

De acuerdo a FAO, la agricultura de conservación reporta diversos beneficios agronómicos y medioambientales, entre ellos el incremento de la materia orgánica y la conservación del agua en el suelo, el mejoramiento de la estructura del suelo y consecuentemente de la zona radical, la reducción de la erosión del suelo, el mejoramiento de la calidad del agua y de la calidad del aire, el incremento de la biodiversidad y la

secuestro de carbono. De acuerdo a la SAGPyA⁹⁰, la siembra directa (SD), como sistema que busca mantener y conservar en superficie importantes niveles de cobertura aportada por los rastrojos de los cultivos, permite controlar la erosión, incrementar el contenido de materia orgánica y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Estos rastrojos son considerados uno de los mayores beneficios sobre la conservación del suelo, ya que el rastrojo en superficie evita el golpe directo de la lluvia, disminuye el escurrimiento y la evapo-transpiración y favorece la infiltración y conservación de la humedad, logrando de esta manera hacer un uso más eficiente del agua, recurso que en cultivos de secano es generalmente el factor limitante en la producción (SAGPyA, 2007). La siembra directa también reduce el consumo de combustibles fósiles⁹¹, lo cual sumado a la menor emisión de dióxido de carbono (por ausencia de labranzas) y al secuestro de carbono (por aumento de materia orgánica) ayuda a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (AAPRESID, 2005).

Como se comentó más arriba, Sudamérica registra una importante experiencia en materia de adopción de la agricultura de conservación, específicamente en los países de la región Sur, quienes concentran alrededor del 50% del área mundial cultivada bajo técnicas conservacionistas.

Brasil y Argentina se encuentran, junto a Estados Unidos, entre los tres países con mayor superficie cultivada con cobertura permanente del suelo y con siembra directa o labranza mínima. A su vez Uruguay (77%), Argentina (67%), Paraguay (49%) y Brasil (38%), registran las mayores tasas de adopción del mundo, en términos de área bajo agricultura de conservación como porcentaje del área cultivada total (Tabla 9.3.2.4). Las tasas de adopción registran crecimientos mucho más rápidos en Sudamérica que en el resto del mundo (el área bajo agricultura de conservación en la región creció de 670.000 hectáreas en 1987 a alrededor de 48 millones de hectáreas en 2006)⁹². Incluso, la calidad de la adopción en América del Sur es superior en términos de permanencia de la no labranza y cobertura permanente en el suelo (Derpsch, 2005). Al respecto, según Derpsch, más del 90% del área cultivada con siembra directa en Argentina, Brasil, Bolivia y Paraguay se practica en forma permanente (sin presencia ocasional de labranzas). En contraste, en EE.UU. apenas el 10%-12% del área con siembra directa no recibe labranzas esporádicamente (CTIC, 2005, citado por Derpsch). Derpsch y Benites (citados por Lorenzatti, 2006), estiman que en menos de una década la siembra directa permanente cubrirá más del 85% de la superficie cultivada en Argentina y en Brasil.

⁹⁰ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la República Argentina.

⁹¹ En comparación con la labranza convencional, la siembra directa representa un 66% menos de consumo de combustible (AAPRESID).

⁹² Derpsch, citado por Lorenzatti, identifica 10 factores o causas clave que favorecieron este fenómeno: 1) control eficiente y económico de la erosión con SD en condiciones climáticas con alto potencial erosivo y de degradación de suelos; 2) conocimientos apropiados disponibles en la región a través de investigaciones y desarrollo de tecnologías como de experiencias de agricultores; 3) amplia utilización de abonos verdes y cultivos de cobertura para control de malezas, el aumento de la materia orgánica del suelo, y el control biológico de plagas; 4) un mismo mensaje positivo sobre la SD fue difundido en forma consistente por todos los sectores involucrados; 5) la SD es la única tecnología conservacionista recomendada por los agricultores; 6) una difusión fuerte de agricultor a agricultor a través de asociaciones de agricultores; 7) publicaciones con información adecuada y prácticas fueron puestas a disposición de agricultores; 8) retornos económicos favorables a la SD; 9) inexistencia de fuerzas significativas en contra del sistema; 10) los agricultores de América Latina han sido muy competitivos en el mercado global, debido a la ausencia de subsidios, debiendo incorporar tecnologías como la SD para seguir siendo competitivos.

Tabla 9.3.2.4: Agricultura de conservación en el mundo

País	Año	Área con agricultura de conservación ¹ (1000 ha)	Área con agricultura de conservación como % del área cultivada
Brasil	2006	25.502	38,3%
Estados Unidos	2005	25.252	14,3%
Argentina	2006	19.719	66,8%
Canada	2006	13.481	25,9%
Australia	2005	9.000	18,1%
Paraguay	2007	2.094	48,7%
Kazakhstan	2007	1.791	8,0%
Uruguay	2006	1.082	76,7%
Bolivia	2005	550	16,9%
Sudáfrica	2005	300	1,9%
España	2005	300	1,6%
Venezuela	2005	300	8,7%
Inglaterra	1984	275	3,9%
Francia	2005	150	0,8%
Chile	2005	120	5,2%
Colombia	2005	102	2,8%
China	2005	100	0,1%
Nueva Zelanda	1984	75	2,0%
México	2007	23	0,1%
Holanda	1984	5	0,6%

1. Cobertura del suelo > a 30% + área perturbada inferior a 15 cm de ancho o 25% del área cultivada (lo que resulta inferior).

Los datos incluyen tanto rotación de cultivos como monocultivos.

Fuente: Elaborado por IICA-Argentina en base a FAO. 2008. AQUASTAT Base de datos. <http://www.fao.org/ag/aquastat>

La adopción de la siembra directa en los países de la Región Sur ayudó a revertir la degradación del suelo, permitió la expansión de la agricultura y la ganadería en áreas marginales, mejoró la rentabilidad de la agricultura y aumentó la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios (Ekboir 2001, citado por Lorenzatti).

Uno de los principales desafíos de la agricultura de conservación en los países de la Región Sur, consiste en avanzar en la generalización de la adopción de su tercer pilar: la rotación de cultivos. Los Ministros de Agricultura de la Región Sur, en una reciente declaración⁹³, plantean que en la mayoría de los países, desde principios de la década del noventa se registró un avance sostenido de la producción agrícola acompañado de un crecimiento extraordinario de la superficie cultivada, particularmente con soja y una tendencia hacia la simplificación de las rotaciones con consecuencias negativas respecto a la conservación de los suelos y la sustentabilidad ambiental del sistema. Lorenzatti (2006), plantea que en Argentina, el crecimiento vertiginoso de la siembra directa se ha producido con un incremento relativo mucho mayor de la soja que de otros cultivos, lo cual indica que la práctica de rotación de cultivos no está siendo realizada en la magnitud e intensidad necesaria. De acuerdo a AAPRESID⁹⁴, citado por Lorenzatti, “se accederá a todos los beneficios siempre que se comprenda la complejidad de los agro-ecosistemas en los que el productor trabaja, y se respeten los tiempos de los ciclos biológicos por sobre las urgencias que exige la rentabilidad inmediata. Para ello, además de la ausencia de remoción deberá plantearse una rotación ajustada en diversidad –número de

⁹³ Consejo Agropecuario del Sur (CAS). *Sustentabilidad de la producción agropecuaria respecto a políticas de uso y conservación de suelos. Declaración de los Ministros. Montevideo, 4 y 5 de diciembre de 2008.*

⁹⁴ Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa.

cultivos diferentes – e intensidad – número de cultivos por unidad de tiempo – junto con una estrategia de fertilización que al menos reponga los nutrientes que hoy muestran respuesta (nitrógeno, fósforo y azufre). Todo ello, acompañado por tecnologías de proceso y de producto que permitan un uso más eficiente y ajustado de insumos, con un menor impacto ambiental negativo”.

En el caso de los países de la Región Andina, que pese a su crecimiento aún registran menores niveles de adopción de siembra directa y cobertura permanente del suelo con materiales orgánicos, resultarán fundamentales los avances en términos de políticas que promuevan la adopción de estas prácticas, el acceso y difusión del conocimiento (*know how*), especialmente en manejo agronómico, y la disponibilidad de maquinarias adecuadas, entre otros factores relevantes.

A las buenas prácticas agrícolas mencionadas, se suman otras también relevantes para la sustentabilidad medioambiental, de aplicación creciente en el mundo y en la región, tales como el manejo integrado de plagas (MIP)⁹⁵, la optimización en el uso de agroquímicos, la utilización racional de fertilizantes con criterio de reposición de nutrientes al sistema, la utilización de abonos orgánicos, el uso racional del riego suplementario y la Agricultura de Precisión⁹⁶. Este tipo de prácticas apuntan a que el uso de insumos como los insecticidas, agroquímicos y nutrientes de origen mineral se apliquen en niveles óptimos y en cantidades que no interrumpan los procesos biológicos. De igual modo, los avances en la legislación y práctica de la eliminación de las quemadas de cañaverales y de residuos de cosecha, la aplicación de tecnologías limpias- como la “cosecha en verde” en el caso de la caña de azúcar-, la aplicación de tratamientos y usos adecuados de efluentes como la cachaza y la vinaza de destilería del alcohol⁹⁷, el uso eficiente de la energía y la utilización de energías renovables en los procesos, representan también aportes fundamentales a la preservación del medio ambiente.

La reciente declaración de los Ministros de Agricultura del Consejo Agropecuario del Sur (CAS)⁹⁸ sobre sustentabilidad de la producción agropecuaria revela los lineamientos a seguir en materia de políticas de sustentabilidad agrícola. En dicha declaración los Ministros se comprometieron a realizar los mayores esfuerzos para:

- Fomentar actividades que generen un equilibrio entre la competitividad y la equidad social de los países del CAS, que permitan una producción agropecuaria sostenible;

⁹⁵ De acuerdo a la definición de FAO, el MIP es “la cuidadosa consideración de todas las técnicas disponibles para combatir las plagas y la posterior integración de medidas apropiadas que disminuyen el desarrollo de poblaciones de plagas y mantienen el empleo de plaguicidas y otras intervenciones a niveles económicamente justificados y que reducen al mínimo los riesgos para la salud humana y el ambiente”. En el MIP se integran diversos métodos de lucha contra las plagas (biológicos, físico-mecánicos, etológicos, culturales o de cultivo, legales, químico-selectivos, etc.), compatibles -y de preferencia que no sean nocivos para el medio ambiente- y se adaptan a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de cada situación específica. De acuerdo a FAO, el MIP permite a los agricultores vigilar y controlar las plagas en sus campos, reduciendo al mínimo absoluto la utilización de plaguicidas químicos costosos y potencialmente dañinos y peligrosos.

⁹⁶ La agricultura de precisión es un conjunto de nuevas herramientas para mejorar la eficiencia de producción agrícola, teniendo como premisa la recolección de datos georreferenciados en forma muy precisa de las características del suelo; el estado nutricional y disponibilidad hídrica de los cultivos, la composición de la población de malezas o enfermedades de un cultivo y su relación con el rendimiento variable de un lote; luego con los datos diseñar el diagnóstico más conveniente y sostenible y si fuese necesario aplicar los insumos en función de la efectiva necesidad de las diversas áreas de un lote o campo, para incrementar beneficios y mantener la calidad del ambiente (Proyecto Nacional Agricultura de Precisión, INTA-Manfredi).

⁹⁷ Al respecto, vale mencionar el caso del tratamiento de vinazas en el proceso de producción de etanol en la industria azucarera colombiana, considerado un ejemplo para el mundo sobre el cuidado del medio ambiente: en las destilerías del sector se producen máximo 3 litros de vinaza por cada litro de etanol, mientras que en otros países se producen alrededor de 14 litros por cada litro de etanol (ASOCAÑA).

⁹⁸ Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay.

- Mantener y aumentar las actividades destinadas a la sustentabilidad de la agricultura, fomentando una adecuada rotación de cultivos y la práctica racional de la fertilización;
- Colaborar en la fiscalización y control del cumplimiento de la normativa vigente;
- Promover una política integrada de conservación, recuperación y uso de suelos con base en estudios de potencialidades y de regionalización productivas, para los diferentes rubros agrícolas;
- Poner especial atención al recurso agua como un decisivo componente del uso productivo de los suelos y a los consecuentes debilitamientos de las cuencas hidrográficas, subterráneas y superficiales;
- Propiciar iniciativas de capacitación y extensión y focalización de instrumentos orientados al uso sustentable de la producción agrícola según tipo de productor y nivel de producción;
- Promover la cooperación horizontal entre los países y sus diferentes actores para la difusión de políticas, programas y proyectos de impacto sobre el buen uso de los suelos para la producción agrícola.

Agua, agricultura y biocombustibles

Considerando que aproximadamente el 70% del agua dulce empleada a nivel mundial se destina a usos agrícolas, el impacto de la producción de biocombustibles en la disponibilidad de agua merece un comentario especial.

La utilización del agua en la actividad agropecuaria ha crecido sostenidamente en el tiempo. El crecimiento demográfico, el desarrollo económico y la urbanización suponen una presión adicional y creciente sobre el uso de los recursos hídricos, cuya disponibilidad para la agricultura se torna así cada vez más escasa en muchos países, como consecuencia de la mayor competencia con los usos domésticos o industriales. De acuerdo a FAO, la escasez de agua, y no de tierras, podría constituir un factor limitante de la producción de materias primas para biocombustibles en muchos contextos (FAO, 2008c).

Actualmente, los biocombustibles son responsables del 1% del agua transpirada por los cultivos en todo el mundo y del 2% de toda el agua extraída para riego (de Fraiture et al, citado por FAO, 2008c).

Entre las materias primas para la producción de biocombustibles, la caña de azúcar y la palma aceitera poseen altos requerimientos de agua (1500-2500 mm/año), mientras que la mandioca, el ricino, el algodón, el maíz y la soja poseen requerimientos medios (500-1000 mm/año) (FAO, 2008a). En los países con escasez de agua en donde la agricultura descansa esencialmente en la irrigación, el incremento de la producción de biocombustibles representará una presión extra sobre sus niveles de estrés hídrico. No obstante, es importante destacar que es la proporción del agua de irrigación utilizada para alcanzar dichos requerimientos la que determinará la presión sobre los recursos hídricos (FAO, 2008b).

A nivel general, como se aprecia en los cuadros y mapas siguientes, América del Sur se encuentra en una situación privilegiada en términos de disponibilidad de recursos hídricos renovables totales (posee la mayor dotación del planeta) y per cápita, y de extracción de agua dulce, total y con fines agrícolas, en proporción a sus recursos hídricos renovables. En todos los países de la región, la proporción de agua utilizada en la agricultura en relación con su dotación de recursos hídricos renovables se encuentra en niveles sustancialmente inferiores al 5%, muy alejados de los considerados como críticos (> 40%) y de estrés hídrico (20%-40%). A su vez, la agricultura en la mayoría de los países no tiene una dependencia sensible del riego. También cabe destacar que en las superficies cultivadas bajo agricultura de conservación se produce un ahorro en el consumo de agua y un uso eficiente de la misma.

Si bien lo anterior sugiere que, en contraposición a la situación crítica del agua en otras regiones del mundo, Sudamérica a nivel general no se verá afectada por un eventual dilema biocombustibles vs. agua, es importante señalar que la agricultura en algunos de los países de la región (Perú, Chile, Colombia y Ecuador)

tiene una dependencia del riego relativamente elevada, y la escasez de agua es un problema crítico en determinadas áreas del continente, como el Nordeste brasileño, la costa desértica del Pacífico peruano-chileno⁹⁹ o el Caribe colombo-venezolano. De acuerdo a FAO, en las zonas con escasez de agua de lluvia, debería evaluarse cuidadosamente la utilización de este recurso para irrigación de cultivos energéticos, dándose prioridad a su utilización en la agricultura de alimentación (FAO, 2008d).

Tabla 9.3.2.5: Disponibilidad y utilización mundial de recursos hídricos renovables

Continente/Región	Recursos de agua dulce internos renovables			Volumen total del agua dulce utilizada km ³ /año	Extracción de agua dulce por sectores						Tierras regadas (2003)		
					Doméstico		Industrial		Agrícola		Extracción en % de los RHIR	Superficie (millones de hectáreas)	En % de la superficie cultivada
	Volumen por año (km ³ o 10 ⁹ m ³)	En % de los recursos de agua dulce del mundo	por habitante en 2003 (m ³)		km ³ /año	%	km ³ /año	%	km ³ /año	%			
Mundo	43 659	100,0	6 900	3 830	381	10	785	20	2 664	70	8,8	277,1	17,9
África	3 936	9,0	4 600	215	21	10	9	4	184	86	5,5	13,4	5,9
Asia	11 594	26,6	3 000	2 378	172	7	270	11	1 936	81	20,5	193,9	34,0
América Latina	13 477	30,9	26 700	252	47	19	26	10	178	71	1,9	17,3	11,1
Caribe	93	0,2	2 400	13	3	23	1	9	9	68	14,4	1,3	18,2
América del Norte	6 253	14,3	19 300	525	70	13	252	48	203	39	8,4	23,2	9,9
Oceanía	1 703	3,9	54 800	26	5	18	3	10	19	72	1,5	2,8	5,4
Europa	6 603	15,1	9 100	418	63	15	223	53	132	32	6,3	25,2	8,4

Fuente: FAO. 2006. AQUASTAT Base de datos. <http://www.fao.org/ag/aquastat>

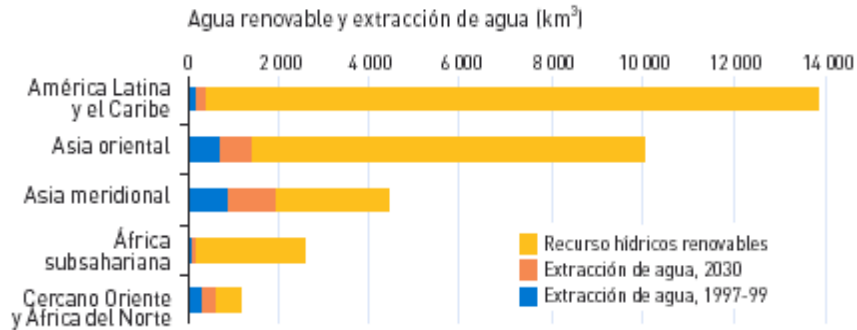
Tabla 9.3.2.6: Recursos hídricos renovables y agricultura en América del Sur

	Recursos de agua dulce renovables totales (10 ⁹ m ³ /yr)	Recursos de agua dulce renovables totales per capita (m ³ /inhab/yr)	Agua dulce extraída para la agricultura como % del total de agua dulce utilizada	Agua dulce extraída para agricultura como % del total de agua dulce renovables	Agua dulce extraída como % del total de recursos de agua dulce renovables	
Región Sur	Argentina	814	20.800	73,7	2,64	3,57
	Brasil	5.418	28.618	61,8	0,45	0,72
	Paraguay	94	15.626	71,4	0,10	0,15
	Uruguay	59	17.711	96,2	2,18	2,27
	Bolivia	304	32.450	80,6	0,19	0,23
	Chile	884	53.688	63,5	0,86	1,36
Región Andina	Venezuela	722	26.569	47,4	0,32	0,68
	Colombia	2.112	46.358	45,9	0,23	0,50
	Ecuador	432	32.722	82,2	3,29	4,00
	Perú	1.616	58.575	81,6	0,86	1,05

Fuente: FAO. 2009. AQUASTAT Base de datos. <http://www.fao.org/ag/aquastat>

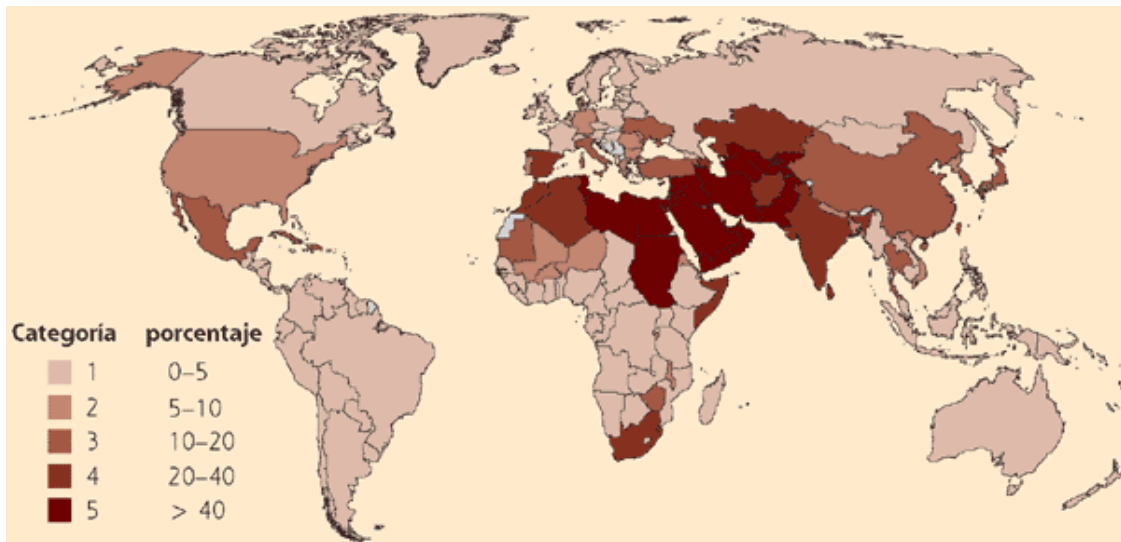
⁹⁹ Por ejemplo, en Perú, la disponibilidad de recursos hídricos está altamente concentrada en la región Selva (80% del total), mientras que la región Costa, la más poblada del país, apenas cuenta con el 2% del recurso, dando lugar a una diferencia sustancial en la disponibilidad del recurso per cápita: 432.052 m³ en la Selva contra 3.060 m³ en la Costa.

Gráfico 9.3.2.7: Recursos hídricos renovables y extracción de agua proyectada a 2030



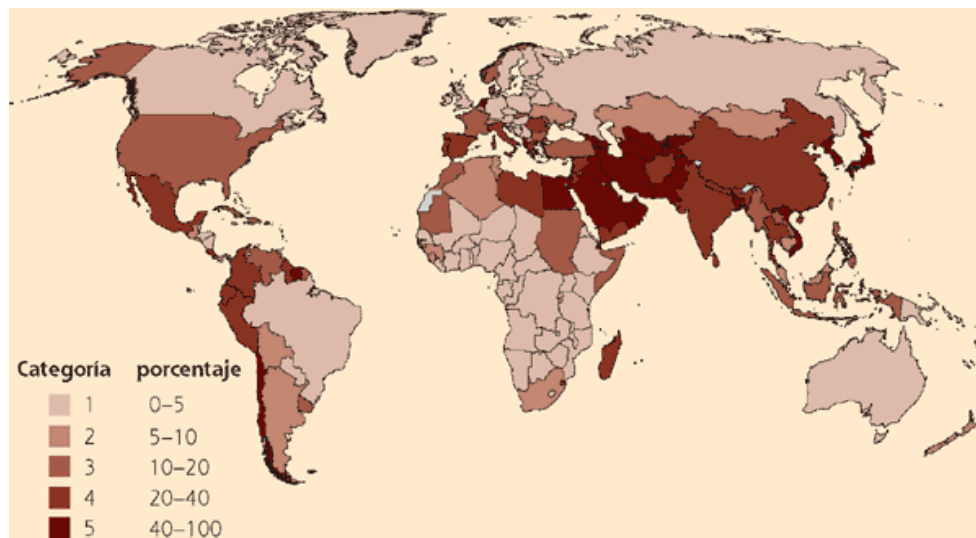
Fuente: FAO (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030*.

Figura 9.3.2.8: Extracción de agua con fines agrícolas como % de los recursos de agua renovables totales (1998)



Fuente: FAO (2002). *Agua y Cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura*.

Figura 9.3.2.9: Área con infraestructura de riego como un % del área total cultivada (1998)



Fuente: FAO (2002). *Agua y Cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura.*

Más allá de la gran disponibilidad de agua en la región, la gestión sustentable de los recursos hídricos debe constituir una premisa ineludible para asegurar el bienestar de las generaciones actuales y futuras. De acuerdo al Öko-Institute (2006), los estándares de sustentabilidad de la bioenergía relativos al uso del agua por parte de la agricultura y a la protección de los recursos de los impactos agrícolas deben considerar los siguientes requerimientos:

- Deberían ser aplicados sistemas de cultivos optimizados que requieran de bajo *input* de agua.
- Las necesidades críticas de irrigación en regiones secas o semi-secas deben evitarse a través de la aplicación de planes de administración del agua.
- Mantener la calidad y disponibilidad del agua superficial y subterránea, y evitar impactos negativos del uso de agroquímicos (por frecuencia y cantidad de aplicación).
- No utilización de aguas residuales sin tratamiento para irrigación.
- La reutilización del agua residual tratada debe formar parte del sistema de administración agrícola.

9.3.2.2 Balances energéticos y de emisiones de los biocombustibles

Como se adelantó en el inicio de la presente sección, parte del debate sobre la sustentabilidad de los biocombustibles gira en torno a su eficiencia energética y ambiental.

Uno de los principales argumentos que ha dado lugar al impulso y uso de los biocombustibles en el mundo se basa en su potencialidad para generar mejoras ambientales a partir de la reducción de emisiones de GEI. Sin embargo, en los últimos años han surgido controversias y un profundo debate en torno al impacto ambiental del desarrollo de la cadena mundial de biocombustibles. Los cuestionamientos apuntan principalmente al valor medioambiental de los biocombustibles de primera generación y, en menor medida, al de los de segunda generación.

La eficiencia energética, medida a través del balance energético, se refiere a la energía generada por el biocombustible en relación con la energía utilizada para su producción, a lo largo de toda la cadena o ciclo de vida del producto (siembra, cosecha y transporte de la materia prima y las diversas fases de producción y

distribución del biocombustible, etc.)¹⁰⁰. Las tablas 9.3.2.10 y 9.3.2.11 presentan dos recopilaciones de resultados de diversos estudios sobre balances de energía fósil del bioetanol y el biodiesel a partir de diversas materias primas, efectuadas por el *Worldwatch Institute* (2006) y Castro et al (2007).

Tabla 9.3.2.10: Balance de energía fósil de combustibles seleccionados

Combustible - materia prima	Balance de Energía Fósil (Aproximado)	Datos y Referencia
Etanol Celulósico	2 - 36	(2,62) Lorenz y Morris (5+) DOE (10,31) Wang (35,7) Elsayed et al.
Biodiesel -Palma Aceitera	≈ 9	(8,66) Azevedo (≈9) Kaltner (9,66) Azevedo
Etanol -Caña de Azúcar	2 - 8	(2,09) Gehua et al. (8,3) Macedo et al.
Biodiesel -Desecho de Aceite Vegetal	5 - 6	(4,85 – 5,88) Elsayed et al.
Biodiesel -Soja	≈ 3	(1,43 – 3,4) Azevedo et al. (3,2)Sheehan et al.
Biodiesel -Colza (UE)	≈ 2,5	(1,2 – 1,9) Azevedo et al. (2,16 – 2,41) Elsayed et al. (2 - 3) Azevedo et al (2,5 – 2,9) BOBFO (1,82 – 3,71) Richards; depende del uso de energía y de la torta para fertilización. (2,7) NTB (2,99) ADEME/DIREM
Etanol -Trigo	≈ 2	(1,2) Richards (2,05) ADEME/DIREM (2,02 – 2,31) Elsayed et al (2,81 – 4,25) Gehua
Etanol -Remolacha Azucarera	≈ 2	(1,18) NTB (1,85 – 2,21) ADEME/DIREM (2,02 – 2,31) Elsayad et al (2,05) ADEME/DIREM
Etanol -Maíz	≈ 1,5	(1,34) Shapouri 1995 (1,38) Wang 2005 (1,38) Lorenz y Morris (1,3 – 1,8) Richards
Diesel -Petróleo Crudo	0,8 - 0,9	(0,83) Sheehan et al. (0,83 – 0,85) Azevedo (0,88) ADEME/DIREM (0,92) ADEME/DIREM
Gasolina -Petróleo Crudo	0,8	(0,84) Elsayed et al. (0,8) Andress (0,81) Wang
Gasolina - Arenas bituminosas	≈ 0,75	Larsen et al.

Fuente: *Worldwatch Institute*, 2006

¹⁰⁰ Por ejemplo, un balance energético con ratio entre energía generada y energía consumida con valor 1 indica que la producción de un biocombustible requiere la misma cantidad de energía que la contenida en el mismo; con valor 2, que la energía contenida en el biocombustible es el doble de la utilizada para producirlo; y valores inferiores a 1 revelan ineficiencia energética en el sentido de que la energía utilizada para producir el biocombustible es mayor a la contenida en el mismo.

Tabla 9.3.2.11: Balance energético de la producción de biodiesel según diferentes estudios

Cultivo	País	Balance energético (ratio energía biodiesel energía total consumida en su obtención)	Supuestos	Fuente
Colza	Unión Europea	1,9	Sólo se considera energía de biodiesel	NTB Liquid Biofuels Network, 2000, citado por Janulis, 2004
Colza	Alemania	Para recorrer 100 km, se ahorra la energía necesaria para producir 8 litros de diésel	Se asume producción de miel de las flores de colza y se valora su energía. Se asume que la harina de colza se usa como alimento animal, sustituyendo harina de soja importada. Se asume que la producción de colza reemplaza tierras de descanso. La paja de la colza es reincorporada al suelo.	Gärther y Reinhardt, 2003
Colza	Francia	2,6 a 5,4	Incluye energía obtenida de los subproductos del proceso. Variabilidad según se incluya la energía de la paja (ratio más alto) o no.	ADEME, 1997, citado por Janulis, 2004
Colza	Lituania	1,04 a 1,66	Sólo se considera energía de biodiesel, con 2 tn/ha de rendimiento agrícola. Variabilidad según sistema agrícola (mejor rendimiento con tecnologías de conservación y biofertilizantes)	Janulis, 2004
Colza	Lituania	1,76 a 6,08	Incluye energía obtenida de los subproductos del proceso con 2 tn/ha de rendimiento agrícola. Variabilidad según se incluya la energía de la paja y se usen tecnologías de conservación y biofertilizantes (ratio más alto) o no.	Janulis, 2004
Colza	Lituania	1,59 a 2,54	Sólo se considera energía de biodiesel, con 3,5 tn/ha de rendimiento agrícola. Variabilidad según sistema agrícola (mejor rendimiento con tecnologías de conservación y biofertilizantes)	Janulis, 2004
Colza	Lituania	5,81 a 9,29	Incluye energía obtenida de los subproductos del proceso con (incluyendo paja), con 3,5 tn/ha de rendimiento agrícola. Variabilidad según sistema agrícola (mejor rendimiento con tecnologías de conservación u biofertilizantes)	Janulis, 2004
Girasol	Estados Unidos	0,46 a 0,57	Variabilidad según se considera valor energético de subproducto (harina de girasol) en forma de su calor específico.	Pimentel y Patzek, 2005
Soja	Estados Unidos	3,215	Ratio entre energía del biodiesel y energía fósil utilizada en producirlo	Sheehan et al., 1998, citados por Janulis, 2004
Soja	Estados Unidos	0,76 a 0,94	Variabilidad según se considera valor energético de subproducto (harina de soja) en forma de su calor específico.	Pimentel y Patzek, 2005
Soja	Estados Unidos	Ahorro: 19,25 GJ de energía no renovable/ha/año	Sistema de rotación soja-maíz, donde el maíz se usa para etanol y soja para biodiesel. Se considera la energía de varios productos.	Kim y Dale, 2005
Sebo de vaca	Estados Unidos	0,81 a 0,89	Se considera desde el crecimiento del animal, el beneficio y la transformación del biodiesel. Sólo se considera el consumo energético del crecimiento del animal correspondiente al % en peso de la grasa respecto del total de productos obtenidos. Variabilidad depende de cómo se calcule el valor energético de los subproductos (según su valor calorífico, según su valor económico, ó según su valor de reemplazo de otros productos similares)	Nelson y Schrock. 2006
Sebo de vaca	Estados Unidos	3,49 a 5,72	Se considera consumo energético desde el procesamiento de la grasa animal en sebo hasta la transformación en biodiesel. Variabilidad depende de cómo se calcule el valor energético de los subproductos.	Nelson y Schrock. 2006
Sebo de vaca	Estados Unidos	5,9 a 17,29	Se considera consumo energético solo en la transformación de la grasa en biodiesel, asumiendo que esta grasa está disponible como subproducto de la producción cárnica. Variabilidad depende de cómo se calcule el valor energético de los subproductos.	Nelson y Schrock. 2006
Varios	Varios	2 a 3	Ratio de energía del biodiesel/energía fósil utilizada en su producción. Comparación de diferentes estudios de ciclo de vida del biodiesel en la Unión Europea y Estados Unidos, desde la década de los años 80.	Wörgetter et al., 1999

Fuente: Castro, Paula et al. (2007)

La eficiencia ambiental, medida a través del balance de emisiones, se refiere a la reducción de las emisiones de GEI por parte de los biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles, considerando toda su cadena o ciclo de vida (siembra, cosecha y transporte de la materia prima, distintas fases de conversión a biocombustible, transporte, distribución y venta al por menor del biocombustible, y las emisiones causadas por su combustión) e incluyendo los efectos del cambio en el uso de tierras. En la Tabla 9.3.2.12 se presentan, a modo de referencia, los valores típicos y por defecto de balances de emisiones de GEI correspondientes a diferentes biocombustibles elaborados con diversas materias primas y tecnologías, tal cual han sido planteados en la propuesta de Directiva de Energías Renovables de la Comisión Europea (Anexo VII) y en el texto finalmente adoptado por el Parlamento Europeo¹⁰¹, junto con estimaciones de valores típicos efectuadas por el Gobierno de Holanda. La Tabla 9.3.2.13 presenta la misma información, pero correspondiente a biocombustibles elaborados con materias primas lignocelulósicas.

Tanto los balances energéticos como los de emisiones de GEI de los biocombustibles varían significativamente en función de diversos factores. En el caso del balance energético, resultan determinantes, entre otros, el tipo de materia prima utilizada (y sus rendimientos), las prácticas agrícolas y el sistema de producción de la materia prima, el tipo de proceso energético utilizado y el grado de eficiencia del proceso de conversión. En el caso de los balances de emisiones, además del balance de energía fósil, entre los factores decisivos se encuentran la cantidad y tipo de fertilizantes y plaguicidas utilizados¹⁰², la tecnología de riego, el tratamiento de los suelos, los cambios en el uso de la tierra, la materia prima utilizada (y sus rendimientos) y su ubicación (distancias recorridas por el transporte), los métodos de producción y las tecnologías de conversión y uso. Al mismo tiempo, los resultados de los cálculos de estos balances pueden diferir significativamente según la metodología utilizada y sus supuestos.

Todo ello ha dado lugar a una fuerte controversia académica, en donde algunos estudios han arribado a balances energéticos negativos (ratios inferiores a 1) para el biodiesel y el etanol o a bajos niveles de contribución en la reducción de GEI (o balances altamente negativos en casos de cambios en el uso de la tierra basados en el avance de la agricultura sobre bosques tropicales u otros ecosistemas), mientras que en otros los resultados de los balances energéticos y de reducción de GEI de los biocombustibles son altamente positivos¹⁰³. De acuerdo a FAO, las diferencias más marcadas en los resultados de este tipo de estudios son debidas a los métodos de asignación elegidos para los productos complementarios, los supuestos sobre las emisiones de óxido nitroso y los cambios de las emisiones del carbono derivados del uso de la tierra (FAO, 2008c).

Rajagopal y Zilberman (2007), realizan una revisión y síntesis de la literatura, en la cual destacan, entre otros, los siguientes hallazgos por parte de dichos estudios:

- El ciclo de vida del etanol y de la caña de azúcar ha sido el más ampliamente estudiado. El etanol de caña registra los mayores beneficios en términos energéticos y de reducción de GEI, seguido por la

¹⁰¹ Aprobado el 17 de diciembre de 2008, a publicarse oficialmente en el transcurso de 2009

¹⁰² Por ejemplo, los fertilizantes nitrogenados constituyen una fuente de emisiones de óxido nitroso, un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global unas 300 veces mayor que el dióxido de carbono (FAO, 2008 c).

¹⁰³ Para mayor información sobre estos estudios, véanse: Farrell, A., Plevin, R. y otros, "Ethanol can contribute to energy and environmental goals". *Science* 2006, 311; Pimentel, D., "Ethanol fuels: energy balance, economics and environmental impacts are negative". 2003. *Natural Resources Research*, Vol. 12 No 2; Pimentel, D., Patzek, T. "Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; Biodiesel production using soybean and sunflower" 2005. *Natural Resources Research*, Vol. 14, N° 1; Hill, J., Nelson, E. y otros, "Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels". 2006. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103:30. Para mayor conocimiento sobre las metodologías de cálculo, véase: Lobato, V. "Metodología para optimizar el análisis de materias primas para biocombustibles en los países del Cono Sur". 2007. PROCISUR-IICA; Gnansounou, E. y otros "Estimating Energy and Greenhouse gas balances of biofuels: Concepts and methodologies". Laussane. 2008. Laboratoire de systèmes énergétiques, EPFL.



mandioca, mientras que el etanol de maíz ofrece beneficios energéticos y medioambientales modestos. A su vez, se espera que el etanol celulósico registre en el futuro las mayores ganancias energéticas netas y de reducción de GEI¹⁰⁴.

- Los co-productos tienen una importante influencia en los ahorros energéticos y de emisiones, aunque existe un debate considerable sobre las técnicas más adecuadas para la valuación de su crédito.
- La rotación de cultivos y los cultivos intercalados son mejores que el monocultivo, mientras que los cultivos perennes son mejores que los anuales en términos de secuestro de carbono del suelo, reducción de la erosión del suelo y uso de agroquímicos en la producción de biomasa¹⁰⁵.
- La producción de electricidad a partir de la biomasa (por ejemplo la cogeneración de energía eléctrica a partir del bagazo de caña), también tiene el potencial de ofrecer reducciones significativas en el consumo de combustibles fósiles y en las emisiones de GEI.
- La literatura sobre los cultivos y condiciones de producción en los países en desarrollo es escasa con la excepción de algunos estudios aplicados al etanol de caña en Brasil, India y otros países.

¹⁰⁴ Vale señalar que, como se aprecia en el cuadro 23a, los resultados obtenidos para el balance de energía fósil del etanol celulósico son muy amplios (de 2 a 36). De acuerdo a FAO, esta amplia variedad de resultados es reflejo de la incertidumbre en relación con esta tecnología y la diversidad de materias primas lignocelulósicas y sistemas de producción posibles.

¹⁰⁵ Cabe mencionar que los autores no aclaran si se refieren exclusivamente a agricultura convencional o si están considerando también en su afirmación a los cultivos anuales en siembra directa y con cobertura del suelo.

Tabla 9.3.2.12: Balances de emisiones de GEI de los biocombustibles (sin cambio en el uso de la tierra)

Proceso de producción de biocombustibles	Directiva de Energías Renovables - Propuesta de la Comisión Europea (Anexo VII)		Directiva de Energías Renovables - Texto adoptado por el Parlamento Europeo (Anexo V)		Programa GAVE (SenterNovem, Gobierno de Holanda)
	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, valores típicos	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, valores por defecto	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, valores típicos	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, valores por defecto	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, valores típicos
Etanol					
Etanol de remolacha azucarera	48%	35%	61%	52%	65%
Etanol de trigo (combustible en proceso no especificado)	21%	0%	32%	16%	54%
Etanol de trigo (lignito como combustible de proceso en instalaciones de cogeneración)	21%	0%	32%	16%	54%
Etanol de trigo (gas natural como combustible de proceso en instalaciones convencionales)	45%	33%	45%	34%	-
Etanol de trigo (gas natural como combustible de proceso en instalaciones de cogeneración)	54%	45%	53%	47%	54%
Etanol de trigo (paja como combustible de proceso en instalaciones de cogeneración)	69%	67%	69%	69%	-
Etanol de maíz, producción en UE (gas natural como combustible de proceso en instalaciones de cogeneración)	56%	49%	56%	49%	-
Etanol de maíz (EE.UU.)	-	-	-	-	29%
Etanol de caña de azúcar	74%	74%	71%	71%	88%
Parte del ETBE (etil-terc-butil-éter) proceso de fuentes renovables	Iguales a los del proceso utilizado de producción de etanol		Iguales a los del proceso utilizado de producción de etanol		-
ETBE					
Remolacha azucarera	48%	35%	61%	52%	65%
Trigo	21%-54%	0%-45%	32%-53%	16%-47%	54%
Maíz (UE)	56%	49%	56%	49%	-
Maíz (EE.UU.)	-	-	-	-	34%
Caña de Azúcar	74%	74%	71%	71%	88%
Parte del TAE (terc-amil-etil-éter) proceso de fuentes renovables	Iguales a los del proceso utilizado de producción de etanol		Iguales a los del proceso utilizado de producción de etanol		-
Biodiesel (FAME)					
Biodiesel de colza (UE)	44%	36%	45%	38%	35%
Biodiesel de colza (Holanda/Alemania)	44%	36%	45%	38%	39%
Biodiesel de girasol	58%	51%	58%	51%	-
Biodiesel de soja	-	-	40%	31%	-
Biodiesel de soja (USA)	-	-	-	-	71%
Biodiesel de soja (Argentina)	-	-	-	-	70%
Biodiesel de palma aceitera (proceso no especificado)	32%	16%	36%	19%	48%
Biodiesel de palma aceitera (proceso sin emisiones atmosféricas de metano en la almazara)	57%	51%	62%	56%	-
Biodiesel de aceites usados de origen vegetal o animal	83%	77%	88%	83%	88%
Aceite vegetal de colza tratado con hidrógeno	49%	45%	51%	47%	-
Aceite vegetal de girasol tratado con hidrógeno	65%	60%	65%	62%	-
Aceite vegetal de palma tratado con hidrógeno (proceso no especificado)	38%	24%	40%	26%	-
Aceite vegetal de palma tratado con hidrógeno (proceso sin emisiones atmosféricas de metano en la almazara)	63%	60%	68%	65%	-
Aceite Vegetal Puro (AVP)					
Aceite vegetal puro de colza (UE)	57%	55%	58%	57%	47%
Aceite vegetal puro de colza (Holanda/Alemania)	57%	55%	58%	57%	51%
Aceites vegetales y grasas usadas	-	-	-	-	100%
Biometano (biogás)					
Biogás producido a partir de residuos orgánicos urbanos como gas natural comprimido	81%	75%	80%	73%	-
Biogás producido a partir de estiércol húmedo como gas natural comprimido	86%	83%	84%	81%	100%
Biogás producido a través de estiércol seco como gas natural comprimido	88%	85%	86%	82%	-

Fuente: Directiva de Energías Renovables: propuesta de la Comisión Europea (ene-2007) y texto adoptado por el Parlamento Europeo (dic-2008) y Programa GAVE (Gobierno de Holanda)

Tabla 9.3.2.13: Valores típicos y valores por defecto estimados para los futuros biocombustibles que no se encuentran en cantidades insignificantes en el mercado en enero de 2008, producidos sin emisiones netas de carbono debidas a cambios en el uso del suelo

Proceso de producción de biocarburantes	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, valores típicos	Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, valores por defecto
Etanol de paja de trigo	87%	85%
Etanol de residuos de madera	80%	74%
Etanol de madera cultivada	76%	70%
Gasoil Fischer-Tropsch procedente de residuos de madera	95%	95%
Gasoil Fischer-Tropsch procedente madera cultivada	93%	93%
DME (dimetil-éter) de residuos de madera	95%	95%
DME (dimetil-éter) de madera cultivada	92%	92%
Metanol de residuos de madera	94%	94%
Metanol de madera cultivada	91%	91%
Parte del MTBE (metil- <i>terc</i> -butil-éter) procedente de fuentes renovables	Iguales a los del proceso de producción del metanol	

Fuente: Directiva de Energías Renovables: propuesta de la Comisión Europea (enero de 2007)

El balance de emisiones de GEI del bioetanol y el biodiesel ha adquirido una importancia crucial desde el punto de vista de la política para los biocombustibles, a partir de la Directiva de Energías Renovables de la UE. En su versión aprobada por el Parlamento Europeo (diciembre de 2008), la Directiva plantea, entre otros criterios de sustentabilidad, que los biocombustibles utilizados en su territorio (producidos internamente o importados), deberán representar una reducción mínima de emisiones de GEI del 35% respecto a los combustibles fósiles cuando la ley entre en vigencia y de 50% desde 2017¹⁰⁶.

Los valores típicos y por defecto planteados en dicha Directiva han sido objeto de controversia. Un claro ejemplo es el del biodiesel de soja, que originalmente no estaba incluido en el Anexo VII de la directiva y fue incorporado en el texto aprobado en diciembre de 2008 por el Parlamento Europeo con un valor muy bajo (31%)¹⁰⁷, en comparación al obtenido por otros estudios (ver Tabla 9.3.2.13)¹⁰⁸. Ello ha motivado un reclamo formal por parte del Gobierno de Argentina, que fundamenta que en el cálculo de dicho valor existen inconsistencias y aplicación de datos que no se corresponden con el caso argentino¹⁰⁹, y que en el Anexo VII de la Directiva resultaría pertinente incorporar al biodiesel de soja producida bajo el sistema de siembra directa, sugiriendo asignar a dicha categoría el valor de 74,9% de reducción de emisiones, de acuerdo a los

¹⁰⁶ El ahorro mínimo de GEI será del 60% para nuevas instalaciones desde 2017 en adelante. Para las plantas que estaban operando hacia enero de 2008, el requerimiento de ahorro mínimo de GEI comenzará en abril de 2013.

¹⁰⁷ El plantear una reducción de GEI por defecto del 31%, cuando el ahorro mínimo de GEI establecido por la directiva es del 35 %, implica que el biodiesel de soja no se considerará sustentable y por lo tanto quedará excluido de las metas, salvo que en cada partida exportada se demuestre por vía de la identificación específica y certificación independiente, que sí es sustentable (Molina, 2008).

¹⁰⁸ Otras críticas suscitadas en torno al Anexo VII de la Directiva de Energías Renovables de la UE tienen que ver con los aumentos en los valores típicos y por defecto planteados en el texto aprobado por el Parlamento Europeo para los biocombustibles elaborados con materias primas de disponibilidad en Europa (bioetanol de remolacha azucarera y de trigo, y biodiesel de colza).

¹⁰⁹ El Joint Research Centre (JRC), la fuente considerada por la CE, informa que se basó en información aportada por EE.UU. y Brasil, para luego concretar el valor por defecto al Anexo VII de la Directiva (Molina, 2008).

resultados obtenidos en una reciente investigación del INTA¹¹⁰. Estos resultados están más en línea con el valor de 70% calculado por el Gobierno de Holanda para el biodiesel de soja argentino (ver Tabla 9.3.2.12).

Teniendo en cuenta lo anterior, y el hecho de que la literatura sobre los balances energéticos y ambientales aplicada a los países de la región es escasa, resulta sumamente importante que los mismos avancen en la realización de este tipo de estudios, considerando las particularidades de los cultivos, de los sistemas de producción y de las cadenas agroindustriales existentes en sus territorios. Estas particularidades pueden diferir significativamente en relación a los parámetros y supuestos de los estudios citados más arriba. Las prácticas agrícolas sustentables descritas en la sección 9.3.2.1, y de amplia aplicación en varios de los países sudamericanos, suponen menores emisiones por mayor acumulación de carbono en el suelo (consecuencia de la cobertura del suelo), por el laboreo reducido o no laboreo en el suelo y por menor consumo de combustibles fósiles (consecuencia de la siembra directa) o por menor uso de fertilizantes y pesticidas (consecuencia de la rotación de cultivos).

Además de las prácticas de la agricultura de conservación, existen diversas formas para mejorar los balances de energía fósil y de emisiones. La más relevante es evitar la deforestación y los cambios en el uso de la tierra, que pueden generar balances de emisiones de GEI negativos en casos como la conversión de bosques tropicales húmedos o bosques templados. A su vez, la utilización de fertilizantes artificiales debe ser cuidadosamente regulada o reducida, para prevenir las emisiones de óxidos nitrosos (The Royal Society, 2008). El empleo de variedades con bajas necesidades de insumos, la reducción del uso de pesticidas a través del MIP, la reducción en las distancias de transporte, la sustitución del uso de metanol en la producción de biodiesel y el empleo de biocombustibles en la producción y transporte de las materias primas y en los procesos de producción, constituyen también otras alternativas relevantes para mejorar los balances.

9.3.2.3 Criterios, certificación e iniciativas de sustentabilidad en la producción de materias primas para biocombustibles

Dados los eventuales riesgos y potenciales externalidades negativas que podrían tener los biocombustibles desde el punto de vista ambiental y social (ver sección 9.3.3) han surgido en el mundo numerosas instituciones e iniciativas que promueven la sustentabilidad y/o la definición de sistemas de aseguramiento y certificación de sustentabilidad de la producción de biocombustibles y sus materias primas.

Entre las instituciones e iniciativas internacionales en marcha más representativas para el caso de la bioenergía y los biocombustibles se destacan:

- La Asociación Mundial de la Bioenergía (GBEP)¹¹¹
- La Plataforma Internacional de Bioenergía (IBEP, en el ámbito de FAO)
- La Mesa Redonda de Biocombustibles Sustentables (RSB)¹¹²

¹¹⁰ INTA (2008). "Análisis de emisiones de la producción de biodiesel a partir de soja en Argentina".

¹¹¹ Socios actuales: Brasil, Canadá, China, Francia, Alemania, Italia, Japón, México, Holanda, Rusia, España, Sudán, Suecia, Tanzania, Reino Unido, Estados Unidos, FAO, IEA, UNCTAD, UN/DESA, UNDP, UNEP, UNIDO, UNF, Consejo Mundial para la Energía Renovable (WCRE) y La Asociación Europea de la Industria de la Biomasa (EUBIA). Angola, Argentina, Austria, Colombia, India, Indonesia, Israel, Kenya, Madagascar, Malasia, Marruecos, Mozambique, Noruega, Perú, Sudáfrica, Suiza, Túnez, la Comisión Europea, la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (FIDA), el Banco Mundial y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) están participando como observadores.

¹¹² Iniciativa coordinada por la École Polytechnique Fédérale de Lausanne, y conformada por múltiples grupos de interés de todo el mundo (ONGs como WWF y FSC, universidades, empresas como PETROBRAS, Bunge, Shell y Toyota, asociaciones de productores agrícolas, como UNICA, agencias especializadas de las Naciones Unidas, y diversos grupos de la sociedad civil, entre otros). Su propósito es alcanzar un consenso global entre los múltiples grupos de interés, con respecto a los principios y criterios de sustentabilidad de la producción de biocombustibles.

- Los grupos de trabajo IEA Task 29, Task 38 y Task 40 (en el ámbito del Acuerdo de Bioenergía de la Agencia Internacional de Energía).

Entre las iniciativas internacionales relacionadas con la producción sustentable de materias primas con potencial utilización para biocombustibles se destacan:

- La Mesa Redonda de Aceite de Palma Sustentable (RSPO)
- La Mesa Redonda de Soja Responsable (RTRS)
- La Iniciativa Mejor Caña de Azúcar (BSI)
- La Iniciativa *Commodities* Responsables (ICI)
- El Consejo de Administración Forestal (FSC)
- La Red de Agricultura Sostenible (SAN)

A grandes rasgos, los principios y criterios de sustentabilidad están basados en los principios básicos de la responsabilidad social empresarial (Gente, Planeta, Beneficios), incorporan dimensiones ambientales y sociales a las económicas, y apuntan a:

- GEI: reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de la cadena productiva de biocombustibles, en comparación con los combustibles fósiles.
- Medio Ambiente: proteger e incluso incrementar la calidad del suelo, el aire y el agua.
- Biodiversidad: no ocasionar daños a la biodiversidad protegida o vulnerable y en lo posible fortalecerla.
- Competencia con alimentos: que la producción de biomasa no ponga en riesgo la seguridad alimentaria y otras aplicaciones locales.
- Prosperidad local y bienestar social: alivio de la pobreza, creación de valor económico para los trabajadores y la economía local, efectos no negativos en las condiciones de trabajo de los empleados y en los derechos humanos, no violación de los derechos de propiedad y uso de la tierra, etc.

En la Tabla 9.3.2.14, se resume, a modo de ejemplo, la denominada “Versión 0” de los principios y criterios globales para la producción sustentable de biocombustibles, desarrollada en el marco de la Mesa Redonda de Biocombustibles Sustentables (RSB).

De acuerdo a la RSB, los estándares a desarrollar, basados en estos principios y criterios, deberían cumplir con una serie de propiedades deseables. En este sentido, los estándares deberían ser:

- Simples: accesibles para los pequeños productores, con bajos costos de medición y fáciles de explicar.
- Genéricos: aplicables a cualquier cultivo en cualquier país, y que permitan comparaciones entre cultivos y sistemas de producción.
- Adaptables: fáciles de revisar, para tener en cuenta nuevas tecnologías y sus impactos en el desempeño de diferentes biocombustibles.
- Eficientes: deberían incorporar otros estándares y certificaciones a los efectos de eliminar duplicaciones y reducir cargos de inspección en los productores y procesadores.

Tabla 9.3.2.14: RSB, principios y criterios globales para la producción sustentable de biocombustibles – versión cero

Criterio	Descripción
Marco Legal	<p>La Producción de biocombustibles cumplirá con todas las leyes aplicables del país en cuestión e intentará por todos los medios respetar los tratados internacionales referidos a la producción de biocombustibles de los cuales sea parte del país correspondiente.</p> <p><i>Incluye leyes y tratados referidos a la calidad del aire, los recursos hídricos, la conservación del suelo, las áreas protegidas, la biodiversidad, las condiciones de trabajo, las prácticas agrícolas y los derechos a la tierra.</i></p>
Consultas, Planificación y Monitoreo	<p>Los proyectos de biocombustibles se diseñarán y operarán según procesos adecuados, amplios, transparentes, de consulta y participativos que involucren a todas las partes interesadas.</p> <p><i>Proyectos de biocombustible se refiere a las explotaciones agrícolas y fábricas que producen biocombustibles. La intención de este principio es las situaciones confusas mediante un proceso abierto y transparente de consulta y aceptación de las partes involucradas, con una escala de consulta proporcional a la escala, alcance y etapa del proyecto y cualquier conflicto potencial</i></p> <p>a) En el caso de los proyectos nuevos y de gran escala, deberá realizarse una evaluación de impacto ambiental y social (ESIA por sus siglas en inglés), elaborarse una estrategia y un plan de mitigación del impacto que abarque la totalidad de la duración del proyecto mediante un proceso de consulta para establecer derechos y obligaciones, y garantizarse la implementación de un plan a largo plazo que dé como resultado la sustentabilidad para todos los socios y comunidades interesadas. La ESIA abarcará todos los principios sociales, ambientales y económicos delineados en este criterio.</p> <p>b) En el caso de proyectos existentes, se requiere el monitoreo periódico de los impactos ambientales y sociales.</p> <p>c) El alcance, duración, participación y grado de la consulta y monitoreo serán razonables y proporcionales a la escala, intensidad y etapa del proyecto y a los intereses en juego.</p> <p>d) El compromiso de las partes involucradas será activo, comprometido y participativo, y permitirá la participación significativa de los habitantes locales, indígenas y tribales.</p> <p>e) La consulta a las partes involucradas demostrará los esfuerzos por alcanzar el consenso mediante el consentimiento libre, previo e informado. El resultado de esta búsqueda de consenso se deberá redundar en el beneficio general para todas las partes, y no violará otros principios incluidos en esta norma.</p> <p>f) Los procesos vinculados a este principio serán abiertos y transparentes, y toda la información necesaria para dar las opiniones y tomar las decisiones estará a disposición de las partes involucradas.</p>
Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	<p>Los biocombustibles contribuirán a la mitigación del cambio climático reduciendo significativamente las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en comparación con los combustibles fósiles.</p> <p><i>El objetivo de este principio es establecer una metodología estándar aceptable para comparar los beneficios de los GEI de diferentes biocombustibles de un modo que pueda plasmarse por escrito en reglamentos y hacerse cumplir las normas.</i></p> <p>a) Los productores y procesadores reducirán las emisiones de GEI de la producción de biocombustibles progresivamente.</p> <p>b) Las emisiones se estimarán mediante un enfoque uniforme de la evolución del ciclo de vida, y los límites del sistema irán de la tierra al tanque/depósito.</p> <p>c) Al momento de verificación, se proveerán valores medidos o por defecto para las fases principales en la cadena de producción de biocombustibles.</p> <p>d) Las emisiones de los GIE resultantes del cambio directo del uso de la tierra se estimarán utilizando el método y los valores del Nivel 1 de la CIPF (Convención Internacional de Protección Fitosanitaria, IPCC por sus siglas en inglés). Aquellos desempeños mejores que los valores por defecto de la CIPF pueden demostrarse mediante modelos o experimentos de campo.</p> <p>e) Las emisiones de GEI resultantes del cambio indirecto del uso de la tierra, es decir, que surgen de efectos macroeconómicos de la producción de biocombustibles, serán minimizadas. No existe un método ampliamente aceptado para su determinación. Los pasos prácticos a seguir para minimizar los efectos indirectos incluirán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • maximizar el uso de residuos y desperdicios como materias primas; tierras marginales, degradadas o previamente desmontadas; mejoras en los rendimientos y cultivos más eficientes; • colaboración internacional para evitar los cambios perjudiciales en el uso de la tierra y • evitar el uso de la tierra o de cultivos que puedan inducir transformaciones en la tierra que produzcan emisiones de carbono almacenado. <p>f) La metodología preferida para la evaluación del ciclo de vida de los GEI es el siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La unidad funcional será CO2 equivalente (en kg.) por Giga Joule [kg CO2equ/GJ] • Los gases de efecto invernadero cubiertos serán CO2 N2O y CH4. Se utilizarán los valores y ciclos de vida más recientes del Potencial de Calentamiento Global a 100 años dados por la CIPF.
Derechos Humanos y Laborales	<p>La producción de biocombustible no violará los derechos humanos ni los derechos laborales y garantizará el trabajo digno y bienestar de los trabajadores.</p> <p><i>Las convenciones internacionales clave tal como las convenciones centrales sobre trabajo de la OIT y la Declaración de los Derechos Humanos de la ONU constituirán la base de este principio.</i></p> <p>a) Los trabajadores tendrán la libertad de asociarse, el derecho de organizarse y el derecho a la negociación colectiva.</p> <p>b) No habrá mano de obra esclavizada o trabajos forzados.</p> <p>c) No habrá trabajo infantil, excepto en las granjas familiares y únicamente cuando el trabajo no interfiera con las actividades escolares del niño/a.</p> <p>d) Los trabajadores no serán sometidos a ningún tipo de discriminación, ya sea en el empleo o respecto a las oportunidades, salario, condiciones laborales y beneficios sociales.</p> <p>e) Los salarios de los trabajadores y las condiciones laborales respetarán todas las leyes y convenios internacionales, así como todos los convenios colectivos correspondientes. Además se establecerán, como mínimo, de acuerdo a las condiciones fijadas para trabajos de la misma naturaleza u ofrecidos por otros empleadores en el país en cuestión.</p> <p>f) Las condiciones de seguridad y salud ocupacionales de los trabajadores y las comunidades respetarán los criterios reconocidos internacionalmente.</p>
Desarrollo Rural y Social	<p>La producción de biocombustible continuará al desarrollo social y económico de los pueblos y comunidades locales, rurales e indígenas.</p> <p>a) La ESIA realizada conforme a lo dispuesto en el criterio de Consultas, Planificación y Monitoreo en los incisos a) y b) darán como resultado una evaluación social de referencia de las condiciones sociales y económicas existentes, y un plan de negocios que garantizará la sustentabilidad, el desarrollo económico local, la equidad entre los socios y la mejora social y rural en todos los aspectos de la cadena de valor.</p> <p>b) Cuando corresponda, se diseñarán e implementarán medidas especiales que favorezcan a la mujer, los jóvenes, las comunidades indígenas y las personas vulnerables en las comunidades afectadas e interesadas.</p>
Seguridad Alimentaria	<p>La producción de biocombustibles no afectará la seguridad alimentaria.</p> <p>a) la producción de biocombustible minimizará los impactos negativos sobre la seguridad alimentaria dando particular preferencia a los residuos y desperdicios como materia prima (una vez que sean económicamente viables), a las tierras degradadas/marginales/subutilizadas como fuentes a las mejoras en los rendimientos que mantienen los suministros de alimentos existentes.</p> <p>b) Los productores de biocombustible que implementen nuevos proyectos a gran escala deberán evaluar el estado de la seguridad alimentaria local y no sustituirán cultivos de alimentos básicos si hay indicadores de seguridad alimentaria local.</p>

Criterio	Descripción
Conservación	<p>La producción de biocombustible evitará los impactos negativos sobre la biodiversidad, los ecosistemas y las áreas con alto valor para la conservación.</p> <p><i>Las áreas con alto valor para la conservación (HCV por sus siglas en inglés), los ecosistemas nativos, los corredores ecológicos y las áreas públicas y privadas para la conservación biológica sólo pueden explotarse si se mantienen intactos los valores para la conservación y no pueden transformarse bajo ninguna circunstancia.</i></p> <p>a) Se identificarán y protegerán las áreas con alto valor para la conservación, los ecosistemas nativos, los corredores ecológicos y otras áreas públicas y privadas para la conservación biológica.</p> <p>b) Se preservarán las funciones y servicios del ecosistema.</p> <p>c) Se protegerán o crearán zonas de amortiguación.</p> <p>d) Se protegerán o restablecerán los corredores ecológicos.</p>
Suelo	<p>La producción de biocombustibles promoverá prácticas que busquen mejorar la salud del suelo y minimizar su degradación</p> <p>a) El contenido de materia orgánica se mantendrá o se llevará a su nivel óptimo de acuerdo a las condiciones locales.</p> <p>b) Se mantendrá o llevará a su nivel óptimo la salud física, química y biológica del suelo según las condiciones locales.</p> <p>c) Los residuos y productos derivados de las unidades de proceso deben manejarse de manera tal que no se dañe el suelo.</p>
Agua	<p>La producción de biocombustible optimizará el uso del recurso hídrico, incluyendo la reducción al mínimo de la contaminación o agotamiento de estos recursos y no violará los derechos del agua, formales o consuetudinarios existentes.</p> <p>a) La ESIA descrita en el inciso a) identificará los derechos al agua existentes, tanto formales como consuetudinarios, así como los posibles impactos del proyecto sobre la disponibilidad de agua dentro de la cuenca hídrica en donde se lleva a cabo el proyecto.</p> <p>b) La producción de biocombustible incluirá un plan de administración del agua adecuado a la escala e intensidad de la producción.</p> <p>c) La producción de biocombustible no agotará los recursos hídricos.</p> <p>d) La calidad de los recursos hídricos se mantendrá o se llevará a su nivel óptimo de acuerdo a las condiciones locales.</p>
Aire	<p>La contaminación del aire debida a la producción y procesamiento de biocombustible se reducirá al mínimo a lo largo de la década de suministro.</p> <p>a) Se minimizará la contaminación del aire con agroquímicos, unidades de proceso de biocombustible y maquinarias.</p> <p>b) Deberá evitarse hacer quemas al aire libre en la producción de biocombustibles.</p>
Eficiencia económica, tecnológica y mejora continua	<p>Los biocombustibles serán producidos de la manera más rentable. El uso de la tecnología debe mejorar la eficiencia de la producción y el desempeño social y ambiental en todas las etapas de la cadena de valor del biocombustible.</p> <p>a) Los proyectos de biocombustibles implementarán un plan de negocios que refleje el compromiso de la viabilidad económica.</p> <p>b) Los proyectos de biocombustible demostrarán su compromiso de la mejora continua del balance energético, la productividad por hectárea (rendimiento) y el uso de la materia prima.</p> <p>c) La información sobre el uso de tecnologías en la cadena de valor deberá estar totalmente disponible, salvo limitación de una ley nacional o acuerdos internacionales sobre derechos intelectuales.</p> <p>d) La elección de tecnologías utilizadas en la cadena de valor de biocombustible minimizará el riesgo de daños al ambiente y a las personas, y mejorará continuamente el desempeño ambiental y/o social.</p> <p>e) El uso de plantas, microorganismos y algas genéticamente modificados para la producción de biocombustibles debe mejorar la productividad y mantener o mejorar el desempeño social y ambiental con respecto a las prácticas comunes y los materiales en las condiciones locales. Deberán tomarse medidas adecuadas de monitoreo y prevención para evitar la migración genética.</p> <p>f) Los micro-organismos utilizados en el procesamiento del biocombustible deben utilizarse únicamente en sistemas aislados.</p>
Derecho a la Tierra	<p>La producción de biocombustibles respetará los derechos a la tierra.</p> <p>a) Según lo dispuesto en la ESIA descrita en el criterio a), los derechos de uso de la tierra destinada al proyecto de biocombustible se definirán y establecerán claramente, y no serán objetados legítimamente por las comunidades locales con los derechos comprobables, ya sean formales o consuetudinarios.</p> <p>b) Los pobladores locales serán compensados justa y equitativamente por la compra acordada de la tierra y por la renuncia a los derechos. En dichos casos siempre se aplicarán acuerdos de libre consentimiento previo e informado y negociados.</p> <p>c) Como parte del ESIA, se desarrollarán los mecanismos adecuados para resolver las disputas por reclamos de tenencia y derechos de uso.</p>

Fuente: Mesa Redonda Sobre Biocombustibles Sostenibles (2008)

En línea con la base generada por las diversas instituciones mencionadas, a nivel de los países o bloques comunitarios, los avances más concretos hacia la definición de sistemas de certificación de sustentabilidad en la producción de biocombustibles y sus materias primas se están dando en la UE, a partir de los criterios establecidos en la propuesta de Directiva de Energías Renovables y en el texto aprobado por el Parlamento Europeo, en Holanda (desarrollo de criterios de sustentabilidad por parte de la Comisión Cramer y actividades en curso para testear tales criterios en proyectos piloto y para definir sistemas de monitoreo y certificación), en el Reino Unido (conforme a la RTFO, los productores de biocombustibles deben reportar el balance de

emisiones de GEI y el impacto ambiental de sus productos), en EE.UU. (el Gobierno ha fijado metas de reducción de emisiones de GEI para los biocombustibles¹¹³) y en Brasil (el Instituto Nacional de Metrología, Normalización y Calidad Industrial está desarrollando el Programa Brasileño de Certificación Técnica, Ambiental y Social de los Biocombustibles). Dichos avances se han concentrado hasta el momento en los criterios de GEI y biodiversidad.

El desarrollo de los sistemas globales y nacionales de certificación de sustentabilidad, podría resultar fundamental para garantizar que los biocombustibles y sus materias primas se produzcan de manera sostenible y para evitar los riesgos y externalidades ambientales negativas mencionadas más arriba. No obstante, estos sistemas cuentan con restricciones significativas al tiempo que plantean ciertos dilemas sumamente relevantes. De acuerdo al *Biomass Technology Group* (BTG), las principales restricciones que enfrentan los sistemas de certificación de sustentabilidad son las siguientes:

- Los sistemas de certificación no están contemplados como efectivos para el monitoreo y gestión de los efectos indirectos de la producción de biomasa, como la competencia con alimentos o efectos indeseados surgidos por los cambios indirectos en el uso de la tierra.
- Solo un limitado número de criterios obligatorios de sustentabilidad se mantendría en terreno en caso de un potencial conflicto en la OMC.
- La certificación de la biomasa podría hacer que los productores de biomasa desplacen sus ventas a economías menos “eco-sensitivas”.

La compatibilidad de estos sistemas con las reglas de la OMC constituye probablemente el principal foco de dudas acerca de la viabilidad y la forma que adoptarán a futuro los esquemas obligatorios de certificación de sustentabilidad. Recientes análisis al respecto efectuados en Holanda¹¹⁴ sugieren que: a) los requerimientos relacionados con los balances de emisiones de GEI pueden ser probablemente formulados conforme a las reglas de la OMC, siempre y cuando los productos extranjeros no sean tratados en forma menos favorable que los productos domésticos, y que la medida no caiga bajo el artículo XI del GATT 1994; b) Algunos de los criterios sobre medioambiente (biodiversidad, protección del suelo y del agua superficial, calidad del aire, etc.) cumplirían con las reglas de la OMC; c) los criterios que apuntan a evitar la competencia con los productos alimenticios y los criterios sociales de contribución a la prosperidad local y al bienestar social de la población local son probablemente incompatibles con las reglas de la OMC.

Lo anterior lleva a una distinción entre sistemas *obligatorios* y sistemas *voluntarios* de certificación de sustentabilidad. De acuerdo al BTG, los sistemas obligatorios de certificación constituirían la mejor opción para garantizar efectivamente los ahorros de emisiones de GEI, la protección de la biodiversidad (bosques de alto valor de conservación, hábitat de vida silvestre, etc.) y la protección del medioambiente local (protección del agua y del suelo, agroquímicos, etc.); mientras que, complementariamente, la certificación voluntaria de la biomasa no sufriría todas las limitaciones de los sistemas obligatorios y podría cumplir un rol positivo para los criterios relacionados con los criterios sociales de contribución a la prosperidad local y al bienestar social de la población local y de los empleados, derechos de las poblaciones rurales, efectos sobre el medioambiente local, protección de la biodiversidad y balances de emisiones de GEI.

¹¹³ Para biocombustibles convencionales (etanol de maíz), la meta de reducción de GEI es del 20%, ajustable hacia porcentajes menores (aunque no a menos de 10%) si el requerimiento determinado no es factible; para biodiesel y otros la meta de reducción de GEI es del 50% (ajustable hacia abajo, aunque no a menos de 40%) y para biocombustibles celulósicos la meta es del 60% (ajustable hasta 50%).

¹¹⁴ Bossche et al (2007) y Bronckers et al (2007), citados por BTG (2008).



Relacionado con lo anterior, FAO plantea ciertas dudas con respecto a la aplicación inmediata de normas que impliquen sistemas rigurosos de medición de parámetros y que tomen como referencia criterios definidos, cuya falta de cumplimiento podría hacer que un país no pudiera exportar su producto. Al respecto, se pregunta: “¿Está el sector de los biocombustibles lo suficientemente desarrollado como para establecer un sistema similar y son los riesgos tan considerables que la ausencia de este sistema supone amenazas importantes e irreversibles para la salud humana y el medio ambiente? ¿Deberían tratarse los biocombustibles de manera más rigurosa que otros productos agrícolas?” (FAO, 2008c). Considerando que la mayoría de los efectos medioambientales de los biocombustibles no se pueden distinguir de los causados por un aumento de la producción agrícola en general, FAO plantea un dilema: podría argumentarse que se deberían aplicar normas iguales a todos los niveles, pero la restricción del cambio del uso de la tierra podría reducir asimismo las oportunidades de que los países en desarrollo se beneficien de un incremento de la demanda de productos agrícolas. En este sentido, de acuerdo a la entidad, los enfoques reguladores con normas y certificaciones podrían no ser la primera o la mejor opción a la hora de garantizar una participación amplia e igualitaria en la producción de biocombustibles. En base a ello, FAO concluye que los sistemas que incorporan buenas prácticas y creación de capacidad podrían dar mejores resultados a corto plazo y proporcionar la flexibilidad necesaria para adaptarse a unas circunstancias en evolución, y que con el tiempo, podrían establecerse normas y sistemas de certificación más rigurosos, acompañados de esfuerzos de creación de capacidad en los países que lo necesiten. También propone investigar la opción de pagos por servicios medioambientales, como instrumento para fomentar el cumplimiento de métodos de producción sostenibles.

Mientras tanto, algunos países de la región, representados a través de sus gobiernos, ONGs o asociaciones de productores, ya están participando de las diversas iniciativas voluntarias internacionales¹¹⁵, al tiempo que avanzan en iniciativas de carácter nacional.

A título de ejemplo, se mencionan algunas iniciativas nacionales en los países de la región:

En Brasil, aparte del mencionado Programa Brasileño de Certificación Técnica, Ambiental y Social de los Biocombustibles, el Protocolo Agro-Ambiental (firmado en 2006 por el Gobierno del Estado de San Pablo y UNICA con el objeto de asegurar patrones de sustentabilidad en la producción de bioetanol), implementó el Programa Bioetanol Verde, para fomentar las buenas prácticas del sector sucro-alcoholero por medio de un certificado de conformidad y para determinar un patrón positivo a ser seguido por los productores. En junio de 2008, las cuatro principales productoras brasileñas de etanol de caña de azúcar exportaron a Suecia con el primer contrato en el mundo de comercio firmado de etanol firmado bajo principios de desarrollo sostenible. Por su parte, EMBRAPA y el Centro Francés de Cooperación Internacional en Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD) están desarrollando un sistema de indicadores de sustentabilidad para la evaluación y gestión ambiental de la producción sustentable de palma.

En Bolivia, se encuentra en desarrollo el Proyecto “Bolivia – Estudio de Caso para la Mesa Redonda Global sobre Biocombustibles Sostenibles” (con el apoyo del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE) y la Cámara de Industria, Comercio, Servicios y Turismo de Santa Cruz (CAINCO)). Esta iniciativa, que tiene como objetivo proveer elementos de juicio consistentes y científicos sobre los biocombustibles para su

¹¹⁵ Brasil es socio actual y Argentina, Colombia y Perú participan como observadores en la GBEP; la Unión de la Industria de Caña de Azúcar de Brasil (UNICA) y PETROBRAS ya forman parte de la RSB; UNICA también forma parte de la Iniciativa Mejor Caña de Azúcar; FEDEPALMA, de Colombia y empresas de Ecuador y Brasil forman parte de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sustentable; mientras que diversas organizaciones brasileñas, argentinas y paraguayas de productores agrícolas, industriales y ONGs (ABIOVE, ACSOJA, AAPRESID, APROSMAT, APROSOJA, entre otros) son miembros participantes de la Mesa Redonda de Soja Responsable.

producción económica, social y medioambientalmente responsable (IBCE), anunció en junio de 2008 la conformación de una Plataforma Boliviana por Biocombustibles Sostenibles.

En Colombia, se está desarrollando el proceso de Interpretación Nacional de los principios y criterios de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sustentable, apuntando a la participación de diversos actores asociados o interesados en la cadena de valor del aceite de palma en Colombia: productores (grandes y pequeños) y procesadores, asociaciones de trabajadores, cooperativas de pequeños productores, gremio palmero, organizaciones y sector ambiental (ONG, MAVDT, CAR e Institutos de investigación), sector agrícola (MADR y SAC, entre otros), organizaciones sociales, academia y expertos técnicos (FEDEPALMA, 2008).

En Argentina, la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID) promueve la iniciativa de desarrollar un “Sistema de Gestión de Calidad Ambiental y Productiva en Agricultura de Conservación”, con potencialidad de ser certificable. El proyecto apunta a lograr una “Agricultura Certificada”, con las garantías que supone ajustarse a un protocolo de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y de indicadores de base científica, que permitan medir el impacto de la agricultura sobre el ambiente, foco de la certificación del proceso de la SD (AAPRESID).

9.3.3 Biocombustibles e inclusión social

Tanto en los países de la región, como en el resto del mundo, el desarrollo de la cadena de los biocombustibles representa múltiples oportunidades para el desarrollo rural y de economías regionales postergadas, como así también para la agricultura familiar, los pequeños y medianos productores agropecuarios y los trabajadores rurales¹¹⁶. De acuerdo a FAO, los biocombustibles pueden ser decisivos para conseguir un renacimiento agrícola que revitalice el uso de las tierras y los medios de vida en zonas rurales. En este sentido, los indicadores de precios para los agricultores podrían aumentar tanto los rendimientos como las ganancias, asegurando una disminución de la pobreza a largo plazo en países que tienen una alta dependencia de los bienes agrícolas, mientras que el cultivo de biocombustibles a gran escala también podría generar beneficios en términos de empleo, desarrollo de habilidades e industria secundaria (Cotula et al, 2008).

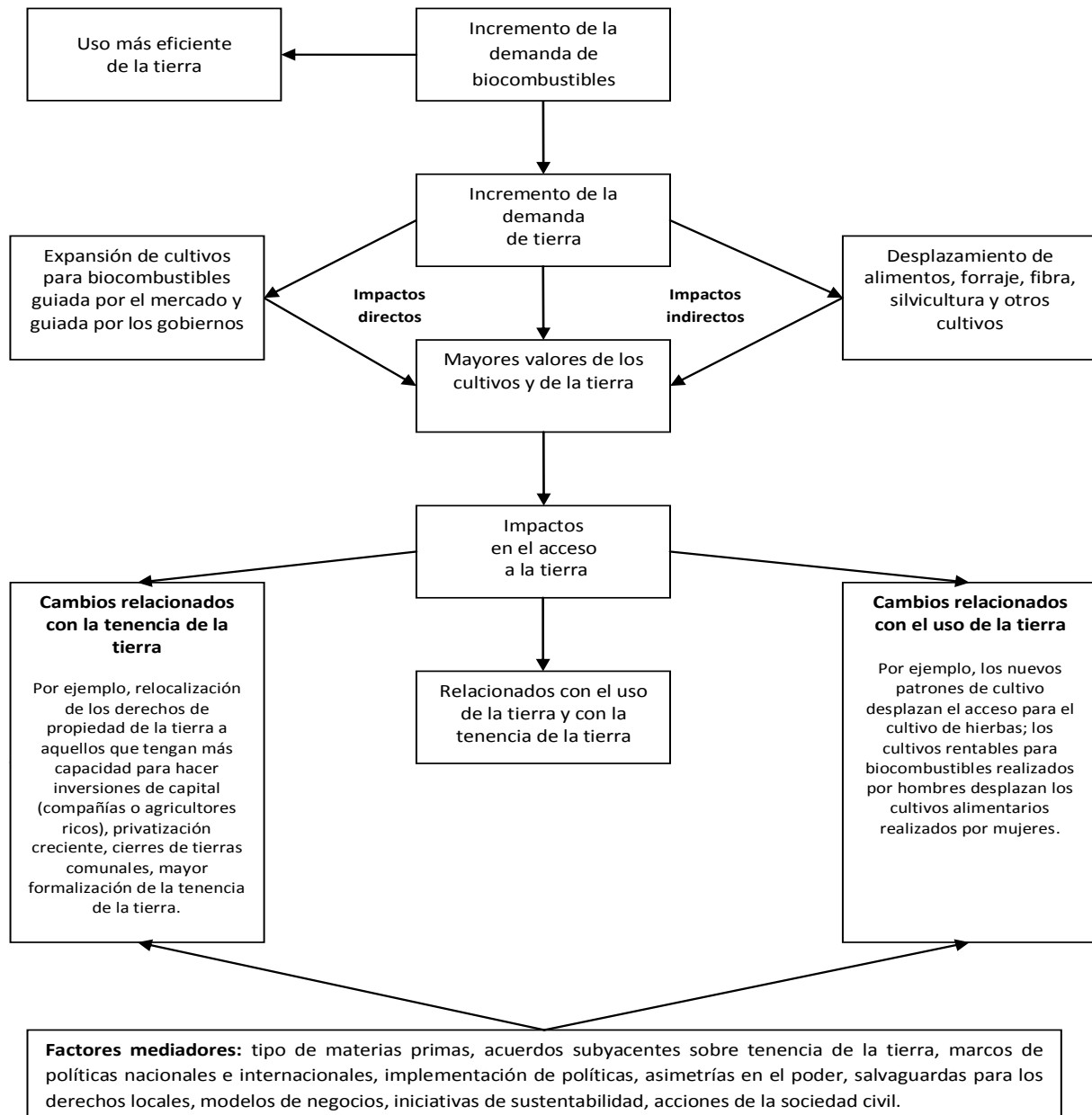
No obstante, al igual que en la cuestión ambiental, el desarrollo de la cadena también implica ciertos riesgos desde el punto de vista social, que de no ser considerados podrían contrarrestar significativamente los beneficios mencionados. A los ya mencionados riesgos vinculados la seguridad alimentaria, se añaden otras posibles externalidades negativas:

- El surgimiento de la demanda de biocombustibles implica un aumento de la demanda de tierra, y esto a su vez representa repercusiones sobre el acceso, tenencia y uso de la tierra, las cuales, en determinadas circunstancias, podrían traducirse en el desplazamiento de comunidades rurales (indígenas, campesinas, pequeños productores agrícolas) (Figura 9.3.3.1).

¹¹⁶ De acuerdo a un estudio del Banco Mundial, cerca del 37% (aproximadamente 65 millones de personas) de los pobres de América Latina y el Caribe viven en áreas rurales y en algunos países como Bolivia, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay y Perú, al menos 70% de su población rural vive en la pobreza. Si bien las estadísticas oficiales indican que la población rural en la región es del 24% del total, cuando se aplica la definición de ruralidad de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, la cifra se eleva al 42% (La OCDE define a la población rural con base en la densidad poblacional de menos de 150 habitantes por km² y más de una hora de viaje a las principales áreas urbanas (ciudades de 100.000 habitantes o más)). (De Ferranti et al, 2005).

- La necesidad de lograr economías de escala podría incentivar el establecimiento de cultivos a gran escala, generando también un desplazamiento de pequeños productores (Duffey, 2008) y mayor concentración de la tierra.
- Determinadas configuraciones de mercado, por ejemplo una cadena con alto nivel de concentración en los eslabones comerciales, pueden dar lugar a una distribución concentrada de la renta de los biocombustibles, con escasos beneficios para la actividad primaria.

Figura 9.3.3.1: Vínculos conceptuales entre la expansión de los biocombustibles y el acceso a la tierra



Fuente: FAO-IIED

Para evitar estos impactos negativos, resultará fundamental la institucionalidad existente en los países en términos de protección y creación de oportunidades para la agricultura familiar y los pequeños productores.



Las situaciones que podrían derivar en el desplazamiento de comunidades rurales pueden ser evitadas mediante políticas y mecanismos legales apropiados, que involucren una orientación y determinación precisa sobre las vocaciones productivas, pese a las aptitudes de la tierra, y garantías de no afectar el hábitat de poblaciones indígenas y campesinas (IBCE, 2008). En particular, resultará indispensable que los gobiernos desarrollen salvaguardas robustas en los procedimientos para la asignación de la tierra a la producción a gran escala de materias primas, cuando las mismas estén ausentes y, más importante aún, las implementen efectivamente (Cotula et al, 2008). Las salvaguardas incluyen procedimientos claros y estándares para la consulta pública y el alcance de consentimientos previos e informados, mecanismos para la apelación y el arbitraje, y revisiones periódicas (Cotula et al, 2008). De acuerdo al IBCE, la posibilidad de desplazamientos forzados de poblaciones, especialmente de grupos étnicos, de sus tierras de origen, no deberían darse si se aplicaran estrictamente los convenios internacionales vigentes al respecto, como el Convenio 169 sobre Pueblos Indígenas y Tribales, así como otros afines, suscritos dentro del marco de la OIT y las disposiciones nacionales vigentes al respecto (IBCE, 2008).

Los principios y criterios de sustentabilidad mencionados en la sección anterior comprenden elementos vinculados con la dimensión social, relacionados con el respeto al derecho a la tierra y la propiedad, a los derechos humanos y laborales y la contribución de los biocombustibles al bienestar de las poblaciones locales a través del desarrollo rural y social (ver Tabla 9.3.2.14). De acuerdo a FAO, los criterios de certificación de sustentabilidad deberían incorporar, como un requerimiento fundamental, el consentimiento previo e informado, basado en la seguridad de la tenencia de la tierra, por parte de los residentes locales.

La inclusión social, la inserción de la agricultura familiar, de las PyMEs agropecuarias y de cooperativas de pequeños productores en las cadenas de biocombustibles, representa uno de los principales desafíos que presenta el desarrollo del sector en América del Sur. Contribuir a la mitigación de la pobreza rural, a asegurar la permanencia de la población en las áreas rurales y a maximizar las posibilidades para el desarrollo rural y local, constituyen metas que deberían figurar enraizadas en la visión que pretenda imprimirse al sector en la región. El logro de estas metas requerirá indefectiblemente de políticas activas y de apoyo por parte de los gobiernos.

De acuerdo a CEPAL, para que los biocombustibles ofrezcan una oportunidad de reconversión productiva, especialmente para pequeños productores, deben darse tres condiciones: a) deben existir paquetes tecnológicos adecuados a las necesidades de pequeños productores; b) los pequeños productores deben tener fácil acceso a plantas productoras de biocombustibles; c) deben existir políticas de incentivos, créditos e infraestructura, que a su vez estén inspiradas en políticas de inclusión (Razo et al, 2007).

Existen diversas alternativas para sumar a los agricultores familiares y a las PyMEs agropecuarias a los encadenamientos productivos regionales que generaría el desarrollo de la cadena de biocombustibles. Las más simples constituyen la canalización de excedentes o la producción de materias primas para su abastecimiento a la cadena; mientras que las más desafiantes implican la generación de núcleos de agricultura familiar o cooperativas u otras modalidades asociativas de pequeños productores, que permitan generar economías de escala en la producción de los cultivos, e incluso avanzar en el agregado de valor, hacia la producción de aceites, subproductos, alcohol y biodiesel (en la medida en que ello sea económicamente viable o factible de ser viabilizado) (Ganduglia, 2008).

Estas alternativas, orientadas al mercado interno, con un enfoque territorial, no implican la elección de modelos mutuamente excluyentes con la producción de cultivos a gran escala o con la industria a gran escala de biocombustibles para exportación. Estos diferentes modelos están en condiciones de coexistir e incluso complementarse.

En este campo se presentan diversas opciones para el desarrollo de acciones públicas, privadas, mixtas y del tercer sector, que deberían partir de la armonización entre las políticas de biocombustibles y las de desarrollo rural. La integración, articulación y coordinación de los programas de desarrollo rural nacionales, las asociaciones de productores, los institutos de investigación y los gobiernos provinciales y municipales, con los programas, instrumentos e instituciones específicas del sector agroenergético contribuiría significativamente a generar sinergias y una masa crítica de recursos e iniciativas favorables a la inclusión social.

Entre los instrumentos de política que podrían utilizarse para promover la inserción de la agricultura familiar y sus modalidades de organización, pueden mencionarse los siguientes:

- Asistencia técnica y material para la producción agrícola: provisión de semillas e insumos básicos, capacitación y extensión, provisión de equipos y transferencia de tecnología.
- Acceso al crédito y/o micro-crédito para la conformación de cooperativas u otras modalidades de organización, el desarrollo de capital humano y productivo, y el acceso a los mercados.
- Mecanismos que incentiven y garanticen la adquisición de materias primas a la agricultura familiar: al respecto, vale destacar el ejemplo del Sello Combustible Social, implementado en Brasil. A través del mismo, el fabricante de biocombustibles que promueva la inclusión social recibe acceso a beneficios impositivos y a condiciones preferenciales de acceso al crédito. Para ello deberá cumplir con porcentuales mínimos de adquisición de materia prima a los agricultores familiares; celebrar contratos con los agricultores familiares, especificando condiciones comerciales que garanticen renta y plazos compatibles con la actividad (atendiendo condiciones mínimas tales como garantía de compra, plazos contractuales, el valor de compra de la materia prima, condiciones de entrega, etc.); y asegurar asistencia y capacitación técnica a los agricultores familiares.
- Apoyo técnico, financiero y fiscal a la generación de proyectos de producción de biocombustibles por parte de cooperativas y desarrollos asociativos agropecuarios o a las mencionadas iniciativas mixtas de interés municipal o provincial.

A nivel mundial, Brasil es uno de los países con mayor enfoque de inclusión social y regional en su política de biocombustibles, especialmente en el caso del biodiesel. El mencionado Sello Combustible Social apunta a garantizar la inclusión de la agricultura familiar en la cadena, como así también la de las regiones más postergadas. Por otro lado, vale mencionar a la estrategia oficial de la UE para los biocombustibles, que se propone elaborar un paquete de ayudas para apoyar el desarrollo de los biocombustibles en países y regiones en desarrollo en de los mismos constituyan una opción para reducir la pobreza de manera sostenible. Por su parte, la legislación argentina también apunta a promover la inclusión de las economías regionales y de pequeñas y medianas empresas, al igual que en diversos países latinoamericanos y africanos, en donde también se están desarrollando diversas acciones y líneas programáticas tendientes a la inclusión social en la cadena.

9.4 Referencias Bibliográficas

Los siguientes documentos se tomaron como referencia para elaborar la sección 2 de este manual:

1. “Boletín mensual Noticias del mercado argentino y mundial de biocombustibles” (en línea). IICA Argentina. Varios números. 2006 a 2009. Disponible en: <http://www.iica.org.ar/at-A&E-NoticiasBiocombustibles.htm>
2. “Remolacha Azucarera”. Iglesias Casanueva, R. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – (ODEPA). Ministerio de Agricultura de Chile. Febrero de 2009. Disponible en: <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/publicaciones/doc/2163.pdf>
3. “Oportunidades y desafíos de la Producción de Biocombustibles para la Seguridad Alimentaria y del Medio Ambiente en América Latina y el Caribe”. 30ª Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Brasilia, 14 al 18 de Abril de 2008. FAO (2008f). Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/larc>
4. “Anuario estadístico 2007”. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay. Consulta Julio de 2008. Ver también: http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2007/pages/DIEA-Anuario-2007-cd_000.html
5. “Avanços e Próximos Passos. Relatório Apresentado pelo Grupo de Trabalho da Soja”. Moratória da Soja. GTS al Exmo. Sr. Ministro de Medio Ambiente Carlos Minc Baumfeld. Septiembre de 2008. Disponible en: http://www.abiove.com.br/sustent/ms_relatorio_ministro_7out08.pdf
6. “Balance energético del sector palmero colombiano 2007”. FEDEPALMA. Unidad de economía y comercio. 2008. Disponible en: http://www.fedepalma.org/document/2008/balance_2007.pdf
7. “Bioenergía, seguridad y sostenibilidad alimentarias: hacia el establecimiento de un marco internacional”. FAO (2008e). Conferencia de alto nivel sobre la seguridad alimentaria mundial: los desafíos del cambio climático y la bioenergía. Roma, Italia. 3 – 5 de junio de 2008. Disponible en: <http://www.abdes.org/fao.pdf>
8. “Bioenergy and Land Tenure: The implications of biofuels for land tenure and land policy”. Cotula Lorenzo, Dyer Nat y Vermeulen Sonja. IIED -FAO. Land Tenure Technical Paper 1. Roma, Italia. 2008. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/aj224e/aj224e00.pdf>
9. “Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável / organização BNDES e CGEE”. BNDES: Rio de Janeiro, Brasil. 2008. Disponible en: <http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/bioetanol.pdf>
10. “Biocombustibles Sostenibles: Un Enfoque Social desde Bolivia”. IBCE. 2008. Disponible en: http://www.biocombustiblesbolivia.org.bo/public_archivos/comext168.pdf
11. “Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável”. Organización BNDES y CGEE. Río de Janeiro, Brasil. 2008. 316 págs. Disponible en: <http://www.bioetanoldecana.org/>
12. “Bolivia: Estudio de Caso para la Mesa Redonda sobre Biocombustibles Sostenibles”. Publicación del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE). N° 163. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2008. Disponible en: http://www.biocombustiblesbolivia.org.bo/public_archivos/comext163.pdf
13. “Bosques y Energía. Cuestiones clave”. FAO (2008g). Estudio FAO: Montes 154. Roma, Italia. 2008. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s00.pdf>
14. Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios de Venezuela (FEDEAGRO). Estadísticas Agropecuarias. Consulta. Julio de 2008.
15. “Contribuciones para una política agrícola regional en agroenergía”. IICA/REDPA/CAS. Grupo sobre Políticas Públicas en Agroenergía (GT6). Red de Coordinación de Políticas Agropecuarias (REDPA). Consejo Agropecuario del Sur (CAS). Ed. Gráfica Suiza. Chile. 2008. 94 págs.

16. "CO₂-tool: Determining greenhouse gas emissions from the production of transport fuels, electricity and heat from biomass". GAVE Programme. SenterNovem, Dutch Ministry of Economic Affairs. 2008. En línea: http://www.senternovem.nl/gave_english/co2_tool/index.asp
17. "Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Modulo I: Piñón". SNV (2008a). Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. Honduras. 2008.
18. "Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Modulo II: Higuierillo". SNV (2008b). Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. Honduras. 2008.
19. "Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Modulo IV: Palma africana". SNV (2008c). Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo. Honduras. 2008.
20. "Developing Sweet Sorghum to Meet the Challenge of Problems on Food, Energy and Environment in 21st Century". Li Dajue. 2008. Disponible en: http://www.ifad.org/events/sorghum/b/LiDajue_developing.pdf
21. "Diagnóstico y estrategias para el desarrollo de los biocombustibles en la Argentina". Ganduglia, F. En diagnóstico y estrategias para la mejora de la competitividad de la agricultura Argentina. Capítulo IV. CARI-FAO-IICA. 2008. Disponible en: http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/argentina/Publicaciones%20de%20la%20Oficina/Diagnostico_Estrategia.pdf
22. "Diagnóstico y situación actual de las áreas protegidas en América Latina y el Caribe (2007)". Informe regional. Corporación Andina de Fomento (CAF). 2008. Disponible en: www.caf.com/publicaciones
23. "Dinámica Agropecuaria 1997-2007". Dirección General de Información Agrario del Ministerio de Agricultura (MINAG). 2008. Disponible en <http://www.agroica.gob.pe/dinamica-agropecuaria-1997-2007.shtml>
24. "Economic Assessment of Biofuel Support Policies". OCDE Directorate for Trade and Agriculture. 2008. Disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/18/48/41014580.pdf>
25. "El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades". FAO (2008c). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 2008. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100s/i0290s.pdf>
26. "Estadísticas Agropecuarias". Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador. Consulta. Julio de 2008. Ver también: <http://www.mag.gov.ec>
27. "Estadísticas del sector agropecuario". Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Bogotá, Colombia. 2008.
28. "Estadísticas por actividad económica". Agricultura. Instituto Nacional de Estadística de Bolivia. Consulta. Julio de 2008. Ver también: <http://www.ine.gov.bo/indice/indice.aspx?d1=0201&d2=6>
29. "Estimaciones Agrícolas mensuales: cifras oficiales al 19/05/08". Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA). Campaña agrícola 2007/08. Buenos Aires, Argentina. 2008.
30. "Etanol de mandioca dulce". Ereno, D. Revista Pesquisa FAPESP. Edición Impresa 144. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). 2008. Disponible en: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2295&bd=1&pg=1&lg=es>
31. "Experiencias en Ordenamiento Territorial para Biocombustibles". Cid Caldas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). III Seminario Latino-americano y del Caribe de Biocombustibles. Brasil, 2008. Disponible en: <http://www.olade.org/biocombustibles/Documents/PONENCIAS%20III%20SEMINARIO%20BIO/SESION%203/2.%20Cid%20Caldas%20MAPA-%20Brasil%20-%20Sesi%C3%B3n%203.pdf>
32. "Flora Platense y Forrajera Cultivada de la Península Ibérica". UPNA. Departamento de Producción Agrícola. Universidad Pública de Navarra. España. 2008.

33. "From 1st to 2nd generation biofuel technologies. An overview of current industry and RD&D activities". OCDE / IEA. 2008. Disponible en:
http://www.iea.org/textbase/papers/2008/2nd_Biofuel_Gen_Exec_Sum.pdf
34. "Global Agricultural Supply and Demand: Factors Contributing to the Recent Increase in Food Commodity Prices". Trostle, L. Outlook Report No. WRS-0801. Economic Research Service, USDA. Mayo de 2008. Disponible en: <http://www.ers.usda.gov/Publications/WRS0801>
35. "Global Market Study on Jatropha. Project Inventory: Latin America". GEXSI. Preparado para World Wide Fund for Nature (WWF) por The Global Exchange for Social Investment (GEXSI). Londres/Berlín. Mayo de 2008. Disponible en: <http://www.slideshare.net/ginosmit/gexsi-global-jatropha-study-abstract-presentation>
36. "Global principles and criteria for sustainable biofuels production". Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB). Initiative of the EPFL Energy Center. Version Zero. 2008. Disponible en:
<http://www.wilsoncenter.org/news/docs/brazil.roundtable.EPFL.en.pdf>
37. "How have countries like Brazil and Argentina managed to double grain production while at the same time protecting their environment?: Lessons to be learned in Europe". Derpsch, R. Presentación en PowerPoint. 1st International Conference on Sustainable Agriculture, Assessment and outlook. IAD, Institut de L'Agriculture Durable. Paris, Francia. 10 de diciembre de 2008.
38. "Increasing Feedstock Production for Biofuels. Economic Drivers, Environmental Implications, and the Role of Research". Biomass Research and Development Board (BR&Di) (2008a). 2008. Disponible en: http://www.brdisolutions.com/Site%20Docs/Increasing%20Feedstock_revised.pdf
39. "Informe Anual 2007-2008: Sector Azucarero Colombiano". ASOCAÑA. Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. 2008. Disponible en:
http://www.asocana.com.co/Informes_Anuales/2007_2008/Informe2007-2008.pdf
40. "Integración de la producción agrícola, pecuaria y bioenergética. Análisis preliminar para el desarrollo de distintos conglomerados productivos". Patrouilleau, R. coord. Informe de avance. INTA. Unidad de Coyuntura y Prospectiva. Buenos Aires, Argentina. 2008. Disponible en:
www.inta.gov.ar/actual/info/integracion_agropecuariabioener.pdf
41. "Interpretación Nacional de los Principios y Criterios de la RSPO. Reflexiones de WWF". Lou Higgins, Mary. Presentación en powerpoint. Bogotá, Colombia. 2008. Disponible en:
www.fedepalma.org/document/2008/rsपो/ML_Higgins.ppt
42. "Jatropha curcas L. (Pinhão Manso)". Durães, F. VI Reunión Técnica del Grupo de Trabajo de Biocombustibles GT6 de REDPA - Consejo Agropecuario del Sur. Presentación en PowerPoint. Buenos Aires, Argentina. 9 de diciembre de 2008.
43. "La crisis financiera y las commodities agrícolas". D'Angelo, L. y Pontón R. Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario. Dirección de Informaciones y Estudios Económicos de la Bolsa de Comercio de Rosario, Argentina. Diciembre de 2008. Disponible en:
<http://www.bcr.com.ar/Secretara%20de%20Cultura/Revista%20Institucional/2008/Diciembre/Notas/006%20%20La%20crisis%20financiera%20y%20las%20commodities%20agr%3%ADcolas.pdf>
44. "La jatropha en Chile". Traub R., A. VI Reunión Técnica del Grupo de Trabajo de Biocombustibles GT6 de REDPA - Consejo Agropecuario del Sur. Presentación en PowerPoint. Buenos Aires, Argentina. 9 de diciembre de 2008.
45. "La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional". CLAES. Taller Agrocombustibles en América Latina. Documento 1. Montevideo, Uruguay. 2008.
46. "New study shows way to fourth-generation biofuels: scientists uncover mechanism that regulates carbon dioxide fixation in plants". BIOPACT. Marzo de 2008. Disponible en:
<http://biopact.com/2008/03/new-study-shows-way-to-fourth.html>
47. "Oportunidades y desafíos de la producción de biocombustibles para la seguridad alimentaria y del medio ambiente en América Latina y el Caribe". FAO (2008d). LARC/08/4. 2008. Disponible en:
<http://www.rlc.fao.org/es/prensa/coms/2008/14.swf>

48. “Opportunities and challenges of biofuel production for food security and the environment in Latin America and the Caribbean”. FAO (2008a). Documento (LARC/8/4) preparado para la 30° Sesión de la Conferencia Regional de FAO para América Latina y el Caribe realizada en Brasilia, Brasil. 14 al 18 de Abril de 2008. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/013/k1481e.pdf>
49. “Paraguay explora su potencial en biocombustibles”. Souto, G. Revista COMUNIICA. Año 4 Segunda etapa. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Mayo – Agosto de 2008.
50. “Potencialidad bioenergética sudamericana a partir de forestaciones con *Jatropha* sp. (*J. curcas*, *hieronymi* y *macrocarpa*)”. Falasca, S. y Ulberich A. Revista Virtual REDESMA. Julio de 2008. Disponible en: <http://revistavirtual.redesma.org/vol4/articulo5.php?id=c1>
51. “Potencialidades y advertencias sobre la producción de *jatropha*”. Hilbert, J. VI Reunión Técnica del Grupo de Trabajo de Biocombustibles GT6 de REDPA - Consejo Agropecuario del Sur. Presentación en PowerPoint. Buenos Aires, Argentina. 9 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.iica.org.uy/redpaonline/cyber_ficha.asp?grupo=67&doc=247
52. “Production of biofuels crops in Florida: Miscanthus”. Erickson, J. et al. Institute of Food and Agriculture Sciences (IFAS). University of Florida, Estados Unidos. 2008.
53. “Production of biofuels crops in Florida: Switchgrass”. Newman Y. et al. Institute of Food and Agriculture Sciences (IFAS). University of Florida, Estados Unidos. 2008.
54. “Projeções do agronegócio: Mundial e Brasil até 2006/07 a 2017/18”. Ministerio de Agricultura, Pecuaria e Abastecimento (MAPA). Brasil. Enero de 2008. Disponible en: <http://www.agricultura.gov.br>
55. “Situación y perspectivas de los biocombustibles en el Perú”. Ocrospoma Ramírez, D. IICA, Oficina en Lima, Peru. 2008. 79 págs.
56. “Sorgo, un cultivo que se impone”. TodoAgro. Producción vegetal. 2008. Disponible en: <http://www.todoagro.com.ar/todoagro2/nota.asp?id=8425>
57. “Sustainability Criteria and Certification Systems: Final Report”. Biomass Technology Group (BTG): DG Tren - European Commission. Febrero de 2008. Disponible en: http://ec.europa.eu/energy/renewables/bioenergy/doc/sustainability_criteria_and_certification_systems.pdf
58. “Sustainable biofuels: prospects and challenges”. The Royal Society. Policy document 01/08. ISBN 978 0 85403 662 2. Enero de 2008. Disponible en: www.royalsociety.org
59. “Sustentabilidad de la producción agropecuaria respecto a políticas de uso y conservación de suelos”. CAS/Consejo Agropecuario del Sur. Declaración de los Ministros III (XV-2008). Montevideo, Uruguay. 4 y 5 de diciembre de 2008.
60. “Sweet sorghum R&D at the Nimbkar Agricultural Research Institute”. Rajvanshi A.; Nimbkar N. Nimbkar Agricultural Research Institute. India. 2008.
61. “The Economics of Biomass Feedstocks in the United States. A review of the literature”. Biomass Research and Development Board (BR&Di) (2008b). Occasional paper No.1. Octubre de 2008. Disponible en : <http://www.brdisolutions.com/Site%20Docs/Biomass%20Feedstocks%20Literature%20Review.pdf>
62. “Una nueva barrera para el biodiesel”. Molina, C. Suplemento Rural del Diario Clarín. Buenos Aires, Argentina. 20 de diciembre de 2008. <http://www.clarin.com/suplementos/rural/2008/12/20/r-01825593.htm>
63. “Vocaciones Productivas Departamentales para la Producción de Biocombustibles y Seguridad Alimentaria”. CAINCO-IBCE. Comunicado de Prensa. 2008. Disponible en: <http://www.cainco.org.bo/salaPrensa/notasPrensa/Notas%20de%20Prensa/BIOCOMBUSTIBLES.doc>
64. “Yuca para la seguridad alimentaria y energética”. FAO (2008h). Sala de Prensa, FAO. 25 de julio de 2008. Disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/ES/news/2008/1000899/index.html>.

65. "A multistake holder learning & guidance initiative: Towards sustainable jatropha". Van Marwijk et al. Borrador. 2007. Disponible en: http://www.jatropha-platform.org/documents/Towards-sustainable-Jatropha_Proposal-051007.pdf
66. "A quick look at fourth generation biofuels". BIOPACT (2007a). Octubre de 2007. Disponible en: <http://biopact.com/2007/10/quick-look-at-fourth-generation.html>
67. "Álcool de mandioca pode ser alternativa de energia renovável". Felipe Fábio y Alves Aparecido. Artículo publicado en el Jornal de Piracicaba. Cuaderno: Vida Agrícola. Página B-5. 7 de noviembre de 2007. Disponible en: http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_MandiocaJP.pdf
68. "An in-depth look at biofuels from algae". BIOPACT (2007b). Enero de 2007. Disponible en: <http://biopact.com/2007/01/in-depth-look-at-biofuels-from-algae.html>.
69. "Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: i.Etanol". IICA. San José, Costa Rica. 2007. 181 págs.
70. "Balance energético de los cultivos potenciales para la producción de biocombustibles". Donato, L.; Huerga I. INTA –CNIA- Instituto de Ingeniería Rural. 2007
71. "Biocombustibles y su impacto potencial en la estructura agraria, precios y empleo en América Latina". Razo, C. et al. Serie Desarrollo Productivo N° 178. CEPAL. Santiago, Chile. Junio de 2007. Disponible en: <http://www.eclac.cl/ddpe/publicaciones/xml/5/30405/lci2768e.pdf>
72. "Biomass energy: the scale of the potential resource". Field, C.B., Campbell, J.E., and Lobell, D.B. Trends in Ecology and Evolution, 23, pp. 65-72. 2007 Disponible en: <http://www.cas.muohio.edu/~stevenmh/Field%20et%20al%202008.pdf>
73. "Claims and facts on Jatropha curcas L.: Global Jatropha curcas evaluation, breeding and propagation programme". Jongschaap et al. Plant Research International B.V., Wageningen UR. Octubre de 2007. Disponible en: <http://www.ifad.org/events/jatropha/breeding/claims.pdf>
74. "Colza – Canola como alternativa para producir biocombustible: fortalezas y debilidades". Gómez, Nora et al. En Bioenergía 2006: avances y perspectivas. Facultad de Agronomía, UBA. Argentina. 2007.
75. "Cultivo del tártago". MAG. Unidad de Estudios Agronómicos. Dirección General de Planificación. Ministerio de Agricultura del Paraguay. Asunción, Paraguay. 2007.
76. "El Estado del Arte de los biocombustibles en Paraguay". Documento de Trabajo N° 2. IICA, Oficina en Asunción, Paraguay. 2007. 81 págs.
77. "El ricino como alternativa para diversificar la producción en áreas marginales". En "Bioenergía 2006: avances y perspectivas". Wassner, D. Facultad de Agronomía, UBA. Argentina. 2007.
78. "El tártago: la planta, su importancia y usos". Mazzani, E. CENIAP/INIA. En CENIAP Hoy N° 14. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela. Abril a Diciembre de 2007. Disponible en: http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/ceniaphoy/articulos/n14/pdf/e_mazzani.pdf
79. "Ensuring that biofuels deliver on their promise of sustainability". Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB). EPFL Energy Center. 2007. Disponible en: http://www.bioenergywiki.net/images/1/12/RSB_Intro.pdf
80. "Etanol de quê?" Buckeridge, M: Revista Pesquisa FAPESP. Edición Online. Noviembre de 2007. Disponible en: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=4338&bd=2&pg=1&lg>
81. "GreenFuel technologies: a case study for industrial photosynthetic energy capture". Dimitrov, K. 2007. Disponible en: <http://www.nanostring.net/Algae/CaseStudy.pdf>
82. "Informe sobre a Situação e Perspectivas da Agroenergia e dos Biocombustíveis no Brasil". IICA, Oficina en Brasília, Brasil. 2007.
83. "Metodología para optimizar el análisis de materias primas para biocombustibles en los países del Cono Sur". Lobato, V. et al. PROCISUR-IICA. Montevideo, Uruguay. 2007. 93 págs.
84. "Micro-algas bio-diesel". Dela Vega Lozano, A. 2007. Disponible en: <http://j.delavegal.googlepages.com/algae>

85. “Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú”. Castro, Paula et al. Soluciones Prácticas-ITDG. Lima, Perú. 2007.
86. “Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina, con énfasis en el etanol de base celulósica”. Patrouilleau, R., Lacoste, C. y otros. INTA. Unidad de Coyuntura y Prospectiva. Buenos Aires, Argentina. 2007. Disponible en: www.inta.gov.ar/actual/info/perspectiva_%20biocombus.pdf
87. “Plan de Siembra 2007-2011 de la Asociación Venezolana de Cultivadores de Palma Aceitera”. ACUPALMA (2007). Disponible en: <http://www.acupalma.org.ve/index.asp?categoryid=7655&articleid=292236>
88. “Potencial de la agricultura y los territorios rurales para producir bioenergía”. Sepúlveda, S. IICA. San José, Costa Rica. 2007. 60 págs.
89. “Potencialidad del cultivo de caña de azúcar en argentina como fuente de bioetanol”. Cárdenas, Gerónimo. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. Argentina. 2007. Disponible en: <http://www.biodiesel.com.ar/download/AapresidBiocombustibesCardenasXVCongreso150807.pdf>
90. “Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles”. IICA. San José, Costa Rica. 2007. 24 págs.
91. “Production of biofuel crops in Florida: Sweet Sorghum”. Vermerris, W. et al. University of Florida, EE.UU. 2007. Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/AG/AG29800.pdf>
92. “Recomendação técnica sobre o plantio de pinhão manso no Brasil”. EMBRAPA. 2007. Disponible en: <http://www.cpa0.embrapa.br/portal/noticias/Position%20Paper.pdf>.
93. “Review of Environmental, Economic and Policy Aspects of Biofuels”. Zilberman, David and Rajagopal, Deepak. The World Bank Development Research Group. Sustainable Rural and Urban Development Team. Septiembre de 2007. Disponible en: http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2007/09/04/000158349_20070904162607/Rendered/PDF/wps4341.pdf
94. “Scientist skeptical of algae-to-biofuels potential – interview”. BIOPACT (2007c). Julio de 2007. Disponible en: <http://biopact.com/2007/07/scientist-skeptical-of-algae-to.html>.
95. “Selección de indicadores que permitan determinar cultivos óptimos para la producción de biodiesel en las eco-regiones Chaco-Pampeana de la República Argentina”. García Penela J.M. INTA. 2007. Disponible en: www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/energia/indicadores_biodiesel.pdf
96. “Producción de biomasa para biocombustibles líquidos: el potencial de América Latina”. Serie desarrollo productivo N° 181. CEPAL. 2007. Disponible en: <http://www.ibcperu.org/doc/isis/9189.pdf>
97. “Sistemas de producción utilizados para obtener etanol”. MAIZAR. 2007. Disponible en: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=246>
98. “Sustentabilidad de la cadena productiva de la soja argentina y la región desafíos prioritarios y recomendaciones de políticas públicas”. FARN. Desafíos prioritarios y recomendaciones de políticas públicas. Documento de trabajo. 2007. Disponible en: http://www.oas.org/dsd/EnvironmentLaw/trade/Documents/SOJA/InformeFinal_Recomendaciones_.pdf
99. “Tablero de comando para la producción de biocombustibles en Perú”. CEPAL et al. En Modernización del Estado, desarrollo productivo y uso sostenible de recursos naturales. Colecciones medio ambiente. 2007. Disponible en: <http://www.bvcooperacion.pe:8080/biblioteca/handle/123456789/2188>
100. “Tecnología brasileña para la agricultura en África”. FAO (2007). Revista Enfoques. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. 2007. Disponible en: <http://www.fao.org/Ag/esp/revista/0703sp1.htm>
101. “Testing framework for sustainable biomass”. Final report from the project Group Sustainable Production of Biomass. Cramer, Jacqueline et al. 2007. Disponible en: http://www.lowcvp.org.uk/assets/reports/070427-Cramer-FinalReport_EN.pdf

102. "The impact of biofuels on global feedstock markets". F.O. Licht. World Grain Markets Report Vol. 4, N° 8. Abril de 2008.
103. "The role of agricultural biotechnologies for production of bioenergy in developing countries". FAO (2008b). Trabajos y presentaciones de Seminario FAO realizado el 12 de Octubre de 2007 en la sede de FAO, Roma, Italia Disponible en: <http://www.fao.org/biotech/docs/bioenergy.pdf>
104. "The strange world of carbon-negative bioenergy: the more you drive your car, the more you tackle climate change". BIOPACT (2007d). Octubre de 2007. Disponible en: <http://biopact.com/2007/10/strange-world-of-carbon-negative.html>.
105. "¿Una plaga nacional utilizable como cultivo energético en áreas semidesérticas de Argentina?". Falasca, S. y Ulberich, A. 2007. Disponible en: www.biodiesel.com.ar/download/cinea_plaganacional.pdf
106. "Agricultura de Conservación". FAO (2006a). Revista Enfoques. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0110sp.htm>
107. "Biofuels for transportation global potential and implications for sustainable agriculture and energy in the 21st century -extended summary". Worldwatch Institute for the German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV), Agency for Technical Cooperation (GTZ) and Agency of Renewable Resources (FNR). Washington, D.C., EE.UU. 7 de Junio de 2006. Disponible en: http://www.worldwatch.org/system/files/EBF008_1.pdf
108. "Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes". Tomm, G. Embrapa. 2006. Disponible en: http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/canola-rev_plantio_direto2006.pdf
"Converting Sweet Sorghum into Ethanol". Oklahoma State University (OSU). 2006. Disponible en: http://osu.okstate.edu/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=90
109. "Cultivo de colza. Foro de Cultivos Alternativos". Iriarte, Liliana. Presentación en PowerPoint. 2006. Disponible en: www.biodiesel.com.ar/download/l_iriarte.pdf
110. "Cultivos industriales" 1ª edición. De La Fuente, E., et al. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires (UBA). Buenos Aires, Argentina. Octubre de 2006. 764 págs
111. "El Agronegocio del tártago en el mundo". EMBRAPA. Circular Técnica 101. EMBRAPA/MAPA. Campinas Grande, Brasil. 2006.
112. "El mercado de almidón añade valor a la yuca". FAO (2006b). Departamento de Agricultura, Bioseguridad, Nutrición y Protección del Consumidor Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Enfoques. 2006. Disponible en: <http://www.fao.org/AG/esp/revista/pdf/0610-1.pdf>
113. "Estrategia de desarrollo de biocombustibles: implicaciones para el sector agropecuario". Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Bogotá, Colombia. 2006.
114. "Experiencia de Brasil en el desarrollo y difusión de especies con fines energéticos". Rosa e Abreu, F. Foro de Cultivos Alternativos. Presentación en PowerPoint. 2006. Disponible en: http://www.biodiesel.com.ar/download/f_rosa.pdf
115. "Factibilidad de implementación de un certificado de agricultura sustentable como herramienta de diferenciación del proceso productivo de siembra directa". Lorenzatti, S. Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires, Argentina. 2006. Disponible en: http://www.agro.uba.ar/agroneg/pdf/afp_lorenzatti.pdf
116. "Issue paper on biofuels in Latin America and the Caribbean". S&T Consultants Inc. Preparado para el BID. Environment Division Sustainable Development Department. Washington DC, Estados Unidos. Septiembre de 2006. Disponible en: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=927710>
117. "Perspectivas de los Biocombustibles en Argentina y en Brasil". SAGPyA/IICA. Primera edición. Marzo de 2006. Disponible en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/biodiesel/biocombustibles1.pdf>

118. "Producción y comercio de biocombustibles y desarrollo sustentable: los grandes temas". Dufey, A. Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo, Londres, Inglaterra. 2006.
119. "Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe". FAO (2006c). Publicación de estudios FAO, Montes 148. 2006.
120. "Sustainability Standards for Bioenergy". Fritsche, U. et al. Öko-Institute. Berlín, Alemania. Septiembre de 2006. Disponible en: http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/Sustainability_Standards_for_Bioenergy.pdf
121. "Análise comparativa de custos e preços do biodiesel em diversas regiões do Brasil: suporte à tomada de decisão e à formulação de políticas". ESALQ. CEPEA – ESALQ, Universidad de San Pablo, Brasil. 2005.
122. "El sendero de la calidad". AAPRESID. Revista de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. 2005.
123. "Impacto regional en la zona semiárida argentina implantando cultivos para biodiesel". Falasca S., Bernabé M.A., Ulberich A. Revista geográfica. 2005. Disponible en: <http://www.articlearchives.com/science-technology/earth-atmospheric-science/1285865-1.html>
124. "Informe de comisión biocarburantes sobre evaluación económica desde el punto de vista país - caso biodiesel". MGAP-ANCAP-MVOTMA-MEF-OPP-MIEM. Uruguay. 2005. Disponible en: www.miem.gub.uy/portal/agxppdwn?5,6,298,O,S,0,1147%3BS%3B1%3B208
125. "The extent of Conservation Agriculture adoption worldwide: Implications and impact". Derpsch, R. Paper presentado en el III Congreso Mundial de Agricultura de Conservación. Nairobi, Kenya. Octubre de 2005.
126. "Desempeño del sector palmicultor". ACUPALMA. Venezuela. 2004. Disponible en: <http://www.acupalma.org.ve/index.asp?categoryid=7655&articleid=191811>
127. "ICRISAT develops sweet sorghum for ethanol production". International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). 2004. Disponible en: <http://www.icrisat.org/Media/2004/media13.htm>
128. "Widescale biodiesel production from algae". Briggs, M. University of New Hampshire, 2004. Disponible en: http://www.unh.edu/p2/biodiesel/article_alge.html
129. "Roadmap for Agriculture Biomass Feedstock Supply in the United States". US Department of Energy. Washington DC, EE.UU. 2003. Disponible en: <http://devafdc.nrel.gov/pdfs/8245.pdf>
130. "Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030". FAO (2002). Departamento económico y social. 2002. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/Y3557S/y3557s00.HTM>
131. "Agua y Cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura". FAO (2002). Roma, Italia. 2002. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/cropsdrops_s.pdf
132. "Cultivos industriales". López Bellido, L. Mundi-Prensa Libros. Madrid, España. 2002. 1071 págs.
133. "El cultivo de colza en la Argentina". Iriarte, Liliana. En: IDIA XXI N° 3, INTA. 2002. Disponible en: www.inta.gov.ar/ediciones/idia/oleaginosa/colza01.pdf.
134. "Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21st century". Fischer, G., van Velthuisen, H., Shah, M., and Nachtergaele, F. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia. 2002. Disponible en: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-00-064.pdf>
135. "La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización". Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca. Cali, Colombia. 2002. 586 págs.
136. "Conservation Agriculture, Matching Production with Sustainability. What is the Goal of Conservation Agriculture?" FAO (2001b). Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/ch10/ch104.pdf>
137. "Labranza cero: cuando menos es más". FAO (2001c) Revista Enfoques. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. 2001. Disponible en: <http://www.fao.org/Ag/esp/revista/0101sp1.htm>

138. “Unified Wood Energy Terminology UWET”. FAO (2001a). Departamento de Montes de FAO. 2001. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/008/j0926s/j0926s00.htm>
139. “Agricultura y medio rural desde la perspectiva tecnológica: retos y oportunidades para las Américas”. IICA y FONAGRO. Dirección de Área II – Ciencia, Tecnología y Recursos Naturales. Segunda reunión de FONAGRO. México, D.F. 2000. Disponible en: www.iica.int/foragro/Reunion/Documentos/VisionCompartidaEsp.doc
140. “Evaluación de las variedades más promisorias para la producción de aceite vegetal y su potencial implementación en Colombia”. Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia (CORPODIB). 2000.
141. “Global Agro-ecological Zones Assessment: Methodology and Results”. Fischer, G. van Velthuisen, H. & Nachtergaele, F. Interim Report, International Institute for Systems Analysis (IIASA), Laxenburg y FAO. Roma, Italia. 2000. Disponible en: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-00-064.pdf>
142. “Land Resource Potential and Constraints at Regional and Country Levels”. FAO. Land and Water Development Division. Roma, Italia. 2000.
143. “Reflexiones sobre la Agricultura de América Latina”. Piñeiro, M. Documento de trabajo preparado para la Conferencia sobre Desarrollo de la Economía Rural y Reducción de la Pobreza en América Latina y el Caribe. Asamblea Anual de Gobernadores del Banco Interamericano de Desarrollo. Nueva Orleans, EE.UU. 2000. Disponible en: http://www.iadb.org/sds/doc/RUR_MPineiro_s.pdf
144. “Introduction to Oil Palm Production”. Fairhurst, T.H. y Mutert, E. Better Crops International. Vol. 13. Nº 1. 1999. Disponible en: [http://www.ppi-far.org/ppiweb/bcropint.nsf/\\$webindex/32EDD1030D2EEF5D852568F600558DE0/\\$file/i99-1p03.pdf](http://www.ppi-far.org/ppiweb/bcropint.nsf/$webindex/32EDD1030D2EEF5D852568F600558DE0/$file/i99-1p03.pdf)
145. “A look back at the U.S. Department of Energy’s aquatic species program—Biodiesel from algae”. NREL. National Renewable Energy Laboratory. US Department of Energy. 1998. Disponible en: http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/biodiesel_from_algae.pdf
146. “La palma aceitera: El cultivo dorado de los trópicos”. Mutert, E. Informaciones agronómicas. 1997. Disponible en: [http://www.inpofos.org/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/E61D42E7FB567A8306256AE80064CB90/\\$file/La+Palma+Aceitera.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/E61D42E7FB567A8306256AE80064CB90/$file/La+Palma+Aceitera.pdf)
147. “Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria”. Teixeira, Cyro et al. 1997. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611997000300011
148. “El cultivo de colza-canola”. Chacra Experimental Integrada Barrow, Convenio MAA – INTA. Serie: Materiales de Divulgación Nº 2. Noviembre de 1996. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/barrow/info/documentos/agricultura/colza/manual_colza.pdf
149. “Physic nut. Jatropha Curcas L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops”. Heller, J. IPGRI, Roma, Italia. 1996. Disponible en: http://www.biodiversityinternational.org/publications/pubfile.asp?id_pub=161
151. “Sorghum—for Syrup”. Undersander D.J. et al. Alternative field crops manual. Departments of Agronomy and Soil Science, College of Agricultural and Life Sciences and Cooperative Extension Service, University of Wisconsin-Madison. 1990. Disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/syrup.html>
152. “The future role of tropical forests in affecting the carbon dioxide concentration of the atmosphere”. Houghton, R.A. *Ambio*, 19, pp. 204-210. 1990. Disponible en: <http://www.jstor.org/pss/4313693#journalInfo>
153. Cock, James. International Agricultural Development Service, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1989. 240 págs.
154. “Mother’s Alcohol Fuel Seminar”. The Mother Earth News. 1980. Disponible en: http://journeytoforever.org/biofuel_library/ethanol_motherearth/meToC.htm

155. “E14 Manihot esculenta Cranz (M. utilissima Pohl)”. Sistema de información de los recursos del pienso. Consulta. Marzo de 2009. Disponible en:
<http://www.fao.org/ag/aGA/AGAP/FRG/afri/Es/Data/535.HTM>
156. “Evolución y estado actual de la agricultura de conservación en Europa. Aspectos legislativos”. Martínez, Armando. Asociación Española de Agricultura Conservación/Suelos vivos. 2002. Disponible en: <http://www.aeac-sv.org/pdfs/legislacion.pdf>
157. “Estimaciones agrícolas: Información general de los cultivos”. SAGPyA. Consulta. 2008. Disponible en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/base.php>
158. “El sorgo”. Vallati, A. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. Argentina. 2007. Disponible en:
http://www.inta.gov.ar/Bordenave/contactos/autores/vala/sorgo_vala.pdf
159. Centre for Jatropha Promotion & Biodiesel (CJP). Consulta. 2009. Sitio web:
<http://www.jatrophabiodiesel.org/index.php>

Páginas Web

1. www.inta.gov.ar/
2. www.corpodib.com.co/
3. <http://www.corpoica.org.co/>
4. www.oml.gov/
5. www.abiove.com.br/
6. www.sagpya.mecon.gov.ar/
7. www.agroinformacion.com - Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA)
8. <http://www.inia.gob.pe/cana/resumen.htm>
9. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
10. <http://www.clayuca.org>
11. www.minag.gob.pe/
12. www.minagricultura.gov.co/
13. www.mag.gov.ec/
14. www.mat.gob.ve/
15. www.agrobolivia.gov.bo/
16. www.agricultura.gov.br/
17. www.mgap.gob.uy/
18. www.mag.gov.py/
19. <http://faostat.fao.org/default.aspx>
20. <http://comtrade.un.org/>

Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe



Establecida en 1965, ARPEL es una asociación de 26 empresas públicas y privadas e instituciones de petróleo y gas natural con operaciones en América Latina y el Caribe, que representan más del 90% de las operaciones de upstream y downstream de la Región. Desde el año 1976, ARPEL posee status consultivo formal de ECOSOC de Naciones Unidas. En el año 2006, ARPEL manifestó su adhesión a los principios del Pacto Mundial de Naciones Unidas.

ARPEL trabaja en tres áreas prioritarias definidas en su Plan Estratégico:

- *En el área económica:* relación con actores clave, crecimiento de la industria e integración energética
- *En el área socio-ambiental:* Sistema de gestión de ambiente, salud y seguridad para prevenir, eliminar y administrar los riesgos de la operación favoreciendo la reducción de incidentes con alto impacto en instalaciones y personas, y el relacionamiento con las comunidades donde opera la industria
- *En el área de eco-eficiencia:* la prioridad está en la reducción de emisiones y el uso efectivo de los recursos no renovables.

Para lograr sus objetivos ARPEL trabaja junto a sus Miembros en temas de interés común para la industria a través de sus nueve Comités. Cuatro Comités corporativos: Ambiente, Salud y Seguridad Industrial; Responsabilidad Social, Cambio Climático y Eficiencia Energética e Integración Energética. Tres Comités operativos: Refinación; Ductos y Terminales; y Exploración y Producción. Dos Comités integradores: Comunicaciones y el Equipo de Integración compuesto por los Presidentes de todos los Comités.

ARPEL organiza talleres, seminarios y simposios regionales para intercambio de experiencias y mejores prácticas y desarrolla documentos técnicos para crear capacidad de gestión sobre temas de interés para sus miembros. ARPEL dispone de un Portal interactivo para sus miembros en el que se encuentran disponibles todos los documentos desarrollados por sus Comités y que facilita la interacción virtual de la comunidad ARPEL y con aquellos grupos de interés que se relacionan con ella.

En el año 2005 en ocasión del 40 aniversario de la Asociación sus miembros firmaron una Declaración de Compromisos que asumen en el área de responsabilidad social, en ambiente, seguridad y salud ocupacional, en integración energética y en comunicaciones para apoyar el desarrollo sostenible de la región.



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura



El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) es un organismo especializado del Sistema Interamericano, cuyos fines son estimular, promover y apoyar los esfuerzos de sus Estados Miembros para lograr el desarrollo sostenible de la agricultura y el bienestar de las poblaciones rurales.

Fundado en 1942, está en un permanente proceso de modernización institucional con el propósito de enfrentar los nuevos retos y dar mejor respuesta a la demanda de apoyo de los países. Ha buscado, así, cumplir con los mandatos de los Jefes de Estado y de Gobierno de las Américas, y con los acuerdos adoptados por los ministros de Agricultura del hemisferio.

Para alcanzar su visión y cumplir con su misión, el IICA posee ventajas competitivas que le facilitan desempeñar su nuevo papel. Ha acumulado conocimientos profundos sobre la agricultura, los territorios rurales y la diversidad cultural y agroecológica de las Américas, los cuales son importantes para moldear soluciones creativas a una amplia gama de problemas y desafíos.

El Instituto es una plataforma de cooperación. La presencia institucional en cada Estado Miembro le brinda la flexibilidad necesaria para movilizar recursos entre países y regiones, con el fin de promover y adaptar iniciativas de cooperación orientadas a abordar las prioridades nacionales y regionales, facilitar el flujo de la información y mejorar la difusión de las mejores prácticas.

Tiene su sede central en Costa Rica, Oficinas en 34 países de las Américas, una oficina en Miami donde opera el Programa de Promoción del Comercio, los Agronegocios y la Inocuidad de los Alimentos y otra Oficina para Europa, ubicada en Madrid.