



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: iicahq@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

Indice

	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 refineras 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.