

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**“EVALUACIÓN DE MATERIALES VEGETALES Y
RESIDUALES OLEAGINOSOS PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL EN EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

JESSICA DOLORES ZELAYA GARCÍA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2007

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIO GENERAL :

LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR :

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QUIMICO

Título :

**“EVALUACIÓN DE MATERIALES VEGETALES Y
RESIDUALES OLEAGINOSOS PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL EN EL SALVADOR”**

Presentado por :

JESSICA DOLORES ZELAYA GARCÍA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directoras :

M.Sc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

M.I. ALBA MARISELA SARA VIA CORTEZ

San Salvador, mayo de 2007

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directoras:

M.Sc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

M.I. ALBA MARISELA SARAVIA CORTEZ

AGRADECIMIENTOS

A la **Dirección General de Minas e Hidrocarburos del Ministerio de Economía**, por su invaluable colaboración en la determinación del índice de cetano en las muestras biocombustibles.

Al **Ing. Norberto Odobez**, de Argentina quién proporcionó información valiosa para el desarrollo del documento.

Al **Ing. Juan A. Méndez**, de Industrias de pinturas Sherwin Williams, por la colaboración en la determinación de las viscosidades preliminares de los materiales grasa de pollo, aceite usados y muestras de sus respectivos metil esteres.

A la **Lic. Isabel Sorto de Alarcón y su equipo analista**, de CENSALUD, por su invaluable colaboración en los análisis de contenido de humedad y acidez libres de las muestras de grasa de pollo y aceite usado de cocina.

Al **Ing. Salaverría**, por su amable colaboración en la obtención de información valiosa para el documento.

Al **Ing. Agr. Oscar Mauricio Coto Amaya y equipo**, del CENTA, por la proporción de información de oleaginosas en El Salvador.

A la **Inga. Delmy del Carmen Rico** y a la **Inga. Alba Marisela Saravia Cortéz**, por su apoyo incondicional, ya que aparte de ser mis docentes asesoras, se convirtieron en mis amigas (con mucho respeto).

Al **Ing. Francisco Arévalo** por su amable colaboración en la operación y uso del calorímetro para la determinación del poder calorífico de las muestras de biodiesel.

JESSICA D. ZELAYA

DEDICATORIA

A mi **Papá Mario Zelaya**, porque me infundó todos sus conocimientos, desde mis inicios de estudiante, y que ahora gracias a él, logré convertirme en profesional, papá!!!, ahora te convertiste junto conmigo en Ingeniero **“LO LOGRAMOS!!!”**.

A mi **Mamá Rosario García**, por su apoyo y cariño incondicional, por sus lecciones de vida, en ella encontré mi fuerza interior; ya que sin ella, yo no hubiera logrado esta meta.

A mis **Hermanos Joanna y Alan**, quienes fueron mis aliados y amigos; por su cariño y apoyo invaluable, por su sacrificio enorme para que yo lograra mi meta y porque en ellos encontré el coraje para nunca rendirme.

Al **personal administrativo de la escuela de Ingeniería Química**, quienes a través de su amable colaboración este trabajo se desarrolló completamente.

A los **docentes de la Escuela de Ingeniería Química**, quienes compartieron todos sus conocimientos científicos que ayudaron a completar mi carrera.

A los encargados del **Laboratorio de la planta piloto**, ya que sin su colaboración, no hubiera sido posible la realización experimental del documento.

A mis amigos y compañeros de la carrera de Ing. Química y Alimentos, por haber compartido conmigo, todo tipo de experiencias durante el transcurso de la carrera.

Y finalmente un agradecimiento y dedicatoria especial a **DIOS TODOPODEROSO**, por brindarme vida y ser mi apoyo espiritual durante todo el recorrido de mi vida y mi carrera.

“POR MAS QUE LAS SITUACIONES SEAN DIFICILES, POR MAS QUE NO VEAS UNA SALIDA, CONFÍA EN TI Y EN DIOS Y NUNCA JAMAS TE RINDAS, SIGUE ADELANTE, LUCHA POR ALCANZAR TUS METAS, PORQUE VIVIR ES UNA GRAN AVENTURA”.

JESSICA D. ZELAYA

RESUMEN

Se realizó un estudio de campo para evaluar la disponibilidad de materiales vegetales y grasas residuales que pueden ser convertidos a biodiesel. Resultando con mayor disponibilidad la grasa de pollo y el aceite usado de frituras de cocina.

Estimándose la disponibilidad anual de 8,936.824TM para la grasa de pollo y 11,046.4TM, para el aceite usado; estos materiales se caracterizaron en su densidad, contenido de agua y sedimentos, índice de acidez y cantidad de grasa extraíble (grasa de pollo), con el fin de evaluar las condiciones iniciales de las materias primas, antes de llevar a cabo la reacción de transesterificación y así aplicar el método de producción de biodiesel que más se adecuaba a estas sustancias grasas. Los resultados obtenidos, determinaron que el método de transesterificación adecuado era el método ácido-base, debido a que la concentración de ácidos grasos, se encontraba entre un 60-80%, concentración que podía aprovecharse para obtener biodiesel.

Con estas materias primas seleccionadas, se obtuvo a nivel de laboratorio un rendimiento promedio de producción del 47.97% para la grasa cruda de pollo (69.27% en grasa extraída por calentamiento a fuego directo) y del 55.27% (en promedio) para el aceite usado de cocina. De lo cual se estima un potencial de producción de biodiesel de 40,000 Lt/día equivalente a 10,567 GAL/día.

La caracterización del biodiesel elaborado, dio los siguientes resultados: para metil ester de grasa de pollo; viscosidad ($5.149\text{mm}^2/\text{s}$), agua y sedimentos (menor al 0.05%) y número ácido (0.431 mgKOH/gr); encontrándose dentro de la norma ASTM D-6751; mientras que los resultados obtenidos para el metil ester de aceite usado solamente dos propiedades se encuentran dentro de la norma estos son: agua y sedimentos (menor al 0.05%) y número ácido (0.89 mgKOH/gr), la viscosidad de este metil ester queda fuera de esta norma debido a que presenta un valor de $18.744\text{mm}^2/\text{s}$. Los índices de cetano (evaluados por aproximación) para ambas muestras fueron: 28.5 para biodiesel de grasa de pollo y 34.9 para el biodiesel de aceite usado. Sin embargo, el poder calorífico del biodiesel de grasa de pollo fue de 18,833.18BTU/lb y 18,209BTU/lb en el biodiesel de aceite usado, resultando en propiedades similares al diesel fósil que posee un poder calorífico de 19,652BTU/lb.

INDICE

RESUMEN	i
INDICE	ii
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE CUADROS	xi
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
GENERAL	3
ESPECÍFICOS	3
1. BIOCOMBUSTIBLES.	4
1.1 BIOETANOL	9
1.2 BIOGAS	13
1.3 BIODIESEL.	16
2. FORMAS DE EMPLEAR LOS ACEITES VEGETALES COMO COMBUSTIBLE. ...	18
2.1 MEZCLA ACEITE CON QUEROSENO (PARAFINA), DIESEL O BIODIESEL	18
2.2 USO DIRECTO DEL ACEITE VEGETAL	19
2.3 CONVERSIÓN A BIODIESEL	20
2.4 PRETRATAMIENTO DE ACEITES Y GRASAS.	23
3. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL	26
3.1 CONVERSIÓN DE UNA ETAPA A ÉSTER METÁLICO O ETÍLICO EN MEDIO BÁSICO.	26

3.2	CONVERSIÓN DE ÉSTER METÍLICO EN MEDIO ÁCIDO	29
3.3	CONVERSIÓN DE ÉSTER METÍLICO EN DOS ETAPAS: PROCESO ÁCIDO-BASE.	29
3.4	LAVADO DEL BIODIESEL.	32
3.5	COSTOS DE PRODUCCIÓN Y PRECIOS DE VENTA.	33
4.	PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A NIVEL MUNDIAL.	36
4.1	PRODUCCIÓN EN EUROPA	36
4.2	PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN AMERICA	40
4.2.1	ESTADOS UNIDOS	40
4.2.2	CANADA	40
4.2.3	SUR AMERICA	41
4.2.4	CENTRO AMERICA	42
5.	PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL	43
5.1	VENTAJAS	43
5.2	DESVENTAJAS	45
5.3	EMISIONES DEL BIODIESEL Y SUS MEZCLAS.	46
6.	LEGISLACION Y ESTANDARIZACION DEL BIODIESEL.	48
6.1	LEGISLACIÓN DEL BIODIESEL	48
6.2	MARCOS LEGALES DE REFERENCIA.	50
6.2.1	MARCO LEGAL EN LA UNION EUROPEA (UE).	50
6.2.2	MARCO LEGAL DE ARGENTINA	51
6.2.3	MARCO LEGAL URUGUAY	51
6.2.4	MARCO LEGAL ESTADOS UNIDOS	51
6.3	NORMALIZACION DEL BIODIESEL	52

7. ACEITES Y GRASAS	57
7.1 DEFINICIÓN	57
7.2 CLASIFICACIÓN	58
7.2.1 ACILGLICÉRIDOS	60
7.2.2 ACIDOS GRASOS	61
7.2.3 FOSFOLÍPIDOS	64
7.3 USOS DE LOS ACEITES	66
7.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES Y GRASAS.	67
7.5 DISPONIBILIDAD DE OLEAGINOSAS EN EL SALVADOR	70
7.5.1 SOYA	71
7.5.2 MANÍ	73
7.5.3 AJONJOLÍ	74
7.5.4 HIGUERILLO	76
7.5.5 ALGODÓN	78
7.5.6 TEMPATE	80
7.5.7 COCO	82
7.5.8 MORRO	84
7.5.9 AGUACATE	86
8. MATERIALES GRASOS RESIDUALES	93
8.1 GRASAS DE ORIGEN ANIMAL	93
8.2 ACEITE RESIDUAL DE COCINA	95
9. CARACTERIZACION DE LAS MATERIAS PRIMAS Y ELABORACION DE BIODIESEL	101
9.1 INTRODUCCIÓN.	101

9.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS SUSTANCIAS OLEAGINOSAS SELECCIONADAS.	102
9.2.1	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.	102
9.2.2	CONTENIDO DE SÓLIDOS EN EL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.	105
9.2.3	CONTENIDO DE AGUA EN EL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.	107
9.2.4	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD MÁXIMA DE GRASA EXTRAÍBLE.	110
9.2.5	CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES EN EL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.	111
9.3	DISCUSION DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA GRASA DE POLLO Y EL ACEITE VEGETAL USADO.	114
9.4	PRUEBA INICIAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIODIESEL.	115
9.5	ELABORACIÓN EXPERIMENTAL DEL BIODIESEL.	116
9.5.1	PRUEBA EXPERIMENTAL PRELIMINAR.	116
9.6	CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL ELABORADO.	123
9.6.1	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CETANO.	123
9.6.2	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS.	124
9.6.3	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ÁCIDO.	126
9.6.4	DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA.	129
9.6.5	DENSIDAD DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y DE ACEITE USADO.	131
9.6.6	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.	133
9.7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL ELABORADO A NIVEL DE LABORATORIO.	140
9.7.1	ESTIMACION DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE LA GRASA DE POLLO Y EL ACEITE VEGETAL USADO.	142

OBSERVACIONES	144
CONCLUSIONES	146
RECOMENDACIONES.	149
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	150
ANEXOS	158
ANEXO 1.0: ESQUEMA DE FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA.	159
ANEXO 1.1: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, DE LAS EMISIONES PROVENIENTES DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DEL PETRÓLEO.	161
ANEXO 2.0: CONSUMO MUNDIAL DE FUENTES ENERGÉTICAS PARA EL AÑO 2002.	163
ANEXO 2.1: RETROSPECTIVA DE LA RESERVA MUNDIAL DEL PETRÓLEO 1995 - 2005 (MIL MILLONES DE BARRILES).	164
ANEXO 2.2: RETROSPECTIVA DE CONSUMO MUNDIAL DEL PETRÓLEO 1995- 2005 (MILES DE BARRILES POR DÍA)	167
ANEXO 2.3: RETROSPECTIVA DE PRECIOS INTERNACIONALES DEL CRUDO.....	169
ANEXO 3.0: DIFERENCIACION DE LOS PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL A PARTIR DE LAS TRES MATERIAS PRIMAS PRINCIPALES	170
ANEXO 3.1: PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ETANOL EN 2003	171
ANEXO 3. 2: PRIMEROS DIEZ PAÍSES EXPORTADORES DE ETANOL EN 2004	172
ANEXO 4.0: PRETATAMIENTO DE ACIDOS GRASOS LIBRES	173
ANEXO 5.0: EJEMPLO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LA GRASA Y EL ACEITE USADO	177
ANEXO 5.1: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD DE LOS MATERIALES GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.	178

ANEXO 5.2: EJEMPLO DE CALCULOS DE LA HUMEDAD PRESENTE EN LA GRASA CRUDA.	179
ANEXO 5.3: CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA GRASA DE POLLO EXTRAÍDA POR COCCIÓN A FUEGO DIRECTO.	180
ANEXO 5.4: REPORTE DE ANALISIS DE ACIDOS GRASOS LIBRES Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO.	181
ANEXO 5.4.1: PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS LIBRES Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS MUESTRAS GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO, REALIZADO EN EL LABORATORIO FISICOQUIMICO DE CENSALUD.	183
ANEXO 5.5: PROCEDIMIENTO VISUAL DE LA ELABORACIÓN DE BIODIESEL EN LABORATORIO.	185
ANEXO 5.6: EJEMPLO DE CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL BIODIESEL ELABORADO A PARTIR DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO.	191
ANEXO 5.7: REPORTE DE RESULTADOS DEL INDICE DE CETANO DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO, PRORCIONADO POR MINAS E HIDROCARBUROS DEL MINISTERIO DE ECONOMIA.	193
ANEXO 5.8: EJEMPLO DE CALCULO DEL NUMERO ACIDO EN LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.	195
ANEXO 5.9: EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DEL METIL ESTER DE ACEITE USADO DE COCINA Y METIL ESTER DE GRASA DE POLLO, MEDIDO EN EL LABORATORIO DE LA PLANTAL PILOTO EIQ.	196
ANEXO 5.10: EJEMPLO DE CALCULO DE LA DENSIDAD DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO, REALIZADO EN PLANTA PILOTO.	198
ANEXO 5.11: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORIFICA DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.	199
ANEXO 6.0: NORMAS ASTM EMPLEADAS EN LA ETAPA EXPERIMENTAL.	203

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
FIGURA1-1: PRODUCCIÓN Y USO DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN LA ACTUALIDAD.	4
FIGURA 1-2: EJEMPLO DE BIOMASA NATURAL	5
FIGURA 1-3: EJEMPLO DE BIOMASA RESIDUAL SECA ³	5
FIGURA 1-4: EJEMPLO DE BIOMASA HÚMEDA.	6
FIGURA 1-5: EJEMPLO DE CULTIVO ENERGÉTICO	6
FIGURA 1-6: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LAS PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS. (CITME, 2006)	11
FIGURA 3-1: SISTEMA REACCIONANTE PARA EL MÉTODO BÁSICO A PARTIR DE ACEITE USADO Y GRASA ANIMAL CON CONCENTRACIONES ELEVADAS DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES (DALLA, PISARELLO Y QUERINI, 2004).	27
FIGURA 3-2: ESQUEMA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN UN PROCESO POR LOTES A PARTIR DEL ACEITE VEGETAL CRUDO (PROBS, 2001).	28
FIGURA 3-3: SISTEMA REACCIONANTE PARA EL MÉTODO ÁCIDO-BASE, A PARTIR DE ACEITE USADO Y GRASA ANIMAL CON CONCENTRACIONES ELEVADAS DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES (DALLA, PISARELLO Y QUERINI, 2004).	30
FIGURA 3-4: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE BIODIESEL (LAROSA, 2001).	31
FIGURA 4-1: PROPORCIONES DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN EUROPA PARA EL AÑO 2004 (SALAVERRÍA, 2005).	39
FIGURA 4-2: PORCENTAJES DE CAPACIDAD INSTALADA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN EUROPA PARA EL AÑO 2005, (SALAVERRÍA, 2005).	39
FIGURA 5-1: EMISIONES DE DIFERENTES MEZCLAS DE BIODIESEL (CHARPENTIER, CRUZ Y LORÍA, 2006).	47

FIGURA 5-2: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE CAMBIOS EN LAS EMISIONES B100 Y B20. (STRATTA, 2000).	47
FIGURA 7-1: ESTRUCTURA DE UN GLICEROL: 1,2 Y 3 CONSTITUYE LAS ESTRUCTURAS DE ESTERIFICACIÓN EN MONO, DI Y TRI GLICÉRIDO CON ÁCIDOS GRASOS (RICO PEÑA, 2003).	60
FIGURA 7-2: TIPOS DE ÁCIDOS GRASOS: SEGÚN EL NÚMERO DE DOBLES ENLACES (EUFIC, 2005).	61
FIGURA 7-3: TIPOS DE ÁCIDOS GRASOS, SEGÚN LA ESTRUCTURA DE SUS ISÓMEROS (EUFIC, 2005).	63
FIGURA 7-4: ESTRUCTURA DE UN FOSFOLÍPIDO; R INDICA UNA RADICAL ALQUÍLICO DE UN ÁCIDO GRASO (LAGUNA, 1979).	64
FIGURA 7-5: SEMILLAS DE SOYA. (PL. P, 2006)	71
FIGURA 7-6: FLOR DE LA PLANTA DE SOYA, (PL. P, 2006).	72
FIGURA 7-7: SEMILLAS Y VAINAS DEL FRUTO DE SOYA, (PL.P, 2006).	72
FIGURA 7-8: HOJAS DE LA PLANTA DE SOYA (PL. P, 2006).	72
FIGURA 7-9: SEMILLAS DE MANÍ (PL. P, 2006).	73
FIGURA 7-10: HOJAS Y FLORES DE LA PLANTA DE MANÍ (PL. P, 2006).	73
FIGURA 7-11: CUBIERTA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS SEMILLAS DE MANÍ (PL. P, 2006).	74
FIGURA 7-12: SEMILLA DE AJONJOLÍ (IICA, 2006).	75
FIGURA 7-13: HOJAS Y FLOR DE LA PLANTA DE AJONJOLÍ, (IICA, 2006).	75
FIGURA 7-14: VAINAS DONDE SE ENCUENTRAN DISTRIBUIDAS LAS SEMILLAS DEL AJONJOLÍ (IICA, 2006).	76
FIGURA 7-15: SEMILLAS DEL HIGUERILLO (PL.P, 2006).	77
FIGURA 7-16: HOJAS Y FRUTO DE LA PLANTA DE HIGUERILLO (PL.P, 2006).	77
FIGURA 7-17: FLOR DE LA PLANTA DE HIGUERILLO (PL.P, 2006).	77
FIGURA 7-18: SEMILLAS DE ALGODÓN, (PL. P, 2006).	78

FIGURA 7-19: FLORES Y HOJAS DE LA PLANTA DE ALGODÓN (PL. P, 2006).	79
FIGURA 7-20: FRUTO DE LA PLANTA DE ALGODÓN, (PL. P, 2006).	79
FIGURA 7-21: FRUTO, SEMILLAS Y HOJA DE LA PLANTA DEL TEMPATE, (PL. P, 2006). ...	80
FIGURA 7-22: FLOR DE LA PLANTA DE TEMPATE (PL. P, 2006).	81
FIGURA 7-23: HOJAS Y FRUTO DEL COCOTERO, (PL. P, 2006).-	82
FIGURA 7-24: FRUTO DEL COCOTERO (PL. P, 2006).	82
FIGURA 7-25: SEMILLAS Y FRUTO DEL MORRO, (PL. P, 2006).	84
FIGURA 7-26: FLOR Y FRUTO DEL MORRO (PL. P, 2006).	84
FIGURA 7-27: HOJAS DEL ÁRBOL DE MORRO (PL. P, 2006).	85
FIGURA 7-28: FRUTO Y SEMILLA DEL AGUACATE (PL.P, 2006).	86
FIGURA 7-29: HOJA Y FLOR DEL ÁRBOL DE AGUACATE (PL. P, 2006).	87
FIGURA 8-1: DISTRIBUCIÓN DEL SUB.-SECTOR ECONÓMICO HOTELES Y RESTAURANTES POR TAMAÑO, NÚMERO DE EMPLEADOS Y POR DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA EN EL SALVADOR, (CNPML, 2002)	97
FIGURA 9-1: ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO PARA REALIZAR LA EXPERIMENTACIÓN	102
FIGURA 9-2: DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS POR EL MÉTODO DE LA CENTRÍFUGA.	105
FIGURA 9-3: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL.	115
FIGURA 9-4: (A) BIODIESEL DE GRASA DE POLLO; (B) BIODIESEL DE ACEITE USADO, JUNTO CON SUS RESPECTIVAS GLICERINAS.	121

INDICE DE CUADROS

Contenido	Página
CUADRO 1.1: TIPOS DE BIOCOMBUSTIBLES OBTENIDOS A PARTIR DE LOS TRES TIPOS DE BIOMASA.	7
CUADRO 1.2: PRODUCCIÓN DE MADERA PARA LEÑA, 1995-2002.	8
CUADRO 1.3: PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA ACCIÓN MICROBIANA.	15
CUADRO 2.1: COMPARACIÓN DE VENTAJAS ENTRE BIODIESEL Y ACEITE VEGETAL.	23
CUADRO 4.1: PRODUCCIÓN Y CAPACIDAD INSTALADA DE BIODIESEL EN EUROPA PARA EL PERÍODO 2004/ 2005.	38
CUADRO 5.1: EMISIONES DE COMBUSTIÓN DEL BIODIESEL RESPECTO AL DIESEL FÓSIL.	46
CUADRO 6.1: NORMA ARGENTINA DE BIODIESEL IRAM- 6515	55
CUADRO 6.2: NORMA ESTADOUNIDENSE DEL BIODIESEL ASTM- 6751	55
CUADRO 6.3: NORMA EUROPEA DEL BIODIESEL EN-14214.	56
CUADRO 7.1: CLASIFICACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS MÁS COMUNES.	62
CUADRO 7.2: PROPORCIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS SATURADOS E INSATURADOS EN DIFERENTES TIPOS DE ACEITES Y GRASAS ALIMENTICIAS.	63
CUADRO 7.3: FUENTES DE SUSTANCIAS OLEAGINOSAS	65
CUADRO 7.4: COMPARACIÓN DE ESPECIES OLEAGINOSAS EN EL SALVADOR PARA DETERMINAR LA POSIBLE EXPLOTACIÓN EN LA ELABORACIÓN DE BIODIESEL.	88
CUADRO 7.5: CUADRO COMPARATIVO ENTRE LA DEMANDA DEL BIODIESEL Y UNA POSIBLE SUSTITUCIÓN CON BIODIESEL A PARTIR DE ACEITES PROVENIENTES DE OLEAGINOSAS.	91

CUADRO 8.1: ESTIMACIÓN DE GRASA GENERADA POR LAS INDUSTRIAS DE CUEROS Y DE ALIMENTOS CORRESPONDIENTES AL GANADO VACUNO, PORCINO Y AVES DE CORRAL PARA EL AÑO 2002.	94
CUADRO 8.2: VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE ACEITES VEGETALES EN EL SALVADOR PARA EL PERÍODO 1999 – 2002.	98
CUADRO 8.3: DATOS DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE ALGUNOS ACEITES Y GRASAS PARA EL AÑO DE 2005.	99
CUADRO 9.1: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DETERMINACIÓN DE DENSIDAD.	104
CUADRO 9.2: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS EN LA GRASA DE POLLO Y ACEITE VEGETAL USADO.	107
CUADRO 9.3: CONTENIDO DE HUMEDAD PRESENTE EN LA GRASA DE POLLO (CRUDA Y EXTRAÍDA) Y EL ACEITE VEGETAL USADO.	109
CUADRO 9.4: CANTIDAD Y RENDIMIENTO DE GRASA DE POLLO EXTRAÍDA.	111
CUADRO 9.5: ÁCIDOS GRASOS LIBRES Y NÚMERO ÁCIDO PARA LAS MUESTRAS GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.	113
CUADRO 9.6: CUADRO RESUMEN DE LAS PROPIEDADES OBTENIDAS EXPERIMENTALMENTE EN LA GRASA DE POLLO Y EL ACEITE USADO DE COCINA.	114
CUADRO 9.7: RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN EXPERIMENTAL DE BIODIESEL A PARTIR DE LAS MUESTRAS GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.	122
CUADRO 9.8: RESULTADOS PROMEDIO DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.	123
CUADRO 9.9: VALORES DEL ÍNDICE DE CETANO DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y DE ACEITE VEGETAL USADO.	124
CUADRO 9.10: CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y DE ACEITE VEGETAL USADO.	126
CUADRO 9.11: DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ÁCIDO DE LOS METIL ESTER DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.	128
CUADRO 9.12: VISCOSIDADES DE LAS MUESTRAS DE METIL ESTER DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO RESPECTIVAMENTE.	130

CUADRO 9.13: DETERMINACIÓN DE DENSIDADES DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE VEGETAL USADO.	132
CUADRO 9.14: INCREMENTO EN LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO, DE LAS MUESTRAS DE METIL ESTER DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO RESPECTIVAMENTE.	139
CUADRO 9.15: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DEL PODER CALORÍFICO DE LAS MUESTRAS DE BIODIESEL DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA RESPECTIVAMENTE.	140
CUADRO 9.16: CUADRO RESUMEN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MUESTRAS DE ACEITE Y SUS RESPECTIVOS METIL ESTERES, PARA COMPARARLAS CON LA NORMA ASTM D-6751.	141

INTRODUCCION

Las necesidades energéticas a nivel mundial se han cubierto tradicionalmente con energía fósil que comprenden: petróleo, carbón y gas natural; constituyendo así la principal fuente de energía. Sin embargo el petróleo ha sido el recurso más explotado, y no cabe duda que al agotarse, finalmente causará la crisis energética más grande en la historia.

Algunos especialistas afirman que hasta el año de 2004, se ha consumido aproximadamente la mitad de la reserva existente en el planeta; esta problemática puede observarse en toda la región con la creciente alza de precio de los combustibles derivados del petróleo que se experimentan, y esto empeorará en los años venideros.

La responsabilidad de esta crisis se les atribuye a los países desarrollados, ya que consumen cantidades enormes del crudo, para así poder sostener el avance tecnológico y la creciente economía que poseen.

Según Salaverría, (2005); se estima que al llegar el año 2015 la demanda mundial del petróleo habrá aumentado aproximadamente en 60 millones de barriles por día, al mismo tiempo la producción de los yacimientos petrolíferos del mundo está disminuyendo en un 5% por año. Aunque han descubierto nuevas provisiones en sitios como Siberia, las Repúblicas del Asia Central y del África Occidental, no se trata de aportaciones enormes a la producción total. La mayor parte del petróleo fácilmente recuperable ya ha sido descubierto y explotado. Al observar esta problemática y aunado al problema ambiental, algunos países desarrollados han realizado investigaciones en lo que son los Biocombustibles, con la finalidad de reducir la dependencia y la contaminación provocadas por el petróleo.

A raíz de esta problemática surge la necesidad de investigar otro tipo de fuentes, seguras, renovables y amigables al medio ambiente, estas son llamadas **FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA, NO CONVENCIONALES Y RENOVABLES.**

Consideradas como las fuentes de energía del futuro, dado que son obtenidas de fuentes naturales capaces de regenerarse a corto plazo y por tanto virtualmente inagotables entre estas se tienen (Ver anexo 1.1): **Geotérmica, Hidráulica, Oceánica, Eólica, Energía Solar, Biomasa.** De las cuales este estudio se enfoca en la obtención de biodiesel a partir de Biomasa.

Para lo cual, en principio deben ser identificadas el mayor número de fuentes oleicas (naturales o residuales), disponibles para la producción de biodiesel; con esto, no solo se contribuirá a buscar fuentes alternas que minimicen la dependencia del petróleo, sino también permitirá dar solución a problemas ambientales provocados por materiales grasos residuales (aceites usados y grasas animales) y a la disminución de las emisiones contaminantes (o nocivas) provenientes de los automóviles; resultando así de mayor peso al beneficio ambiental generado; incluyendo también la reducción significativa acerca de la problemática de emplear cultivos alimenticios para fines bioenergéticos.

Esta investigación, es uno de los primeros estudios científicos desarrollados en El Salvador, respecto a los biocombustibles; aportando para las futuras generaciones el incentivo necesario de continuar la investigación de los combustibles alternativos.

OBJETIVOS

General

1. Evaluar fuentes vegetales oleaginosas y materiales residuales con potencial para la producción de biodiesel en El Salvador.

Específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica y de campo acerca de la disponibilidad de materias primas vegetales oleaginosas y residuales con uso potencial para producir biodiesel.
2. Realizar una selección en base a facilidad de extracción y disponibilidad de las diferentes fuentes oleicas; para su utilización en la elaboración experimental de biodiesel.
3. Elaborar biodiesel a nivel de laboratorio, a partir de las materias primas seleccionadas.
4. Caracterizar las mezclas de las materias seleccionadas para la elaboración de biodiesel y caracterizar el biodiesel elaborado a nivel de laboratorio.

1. BIOCOMBUSTIBLES.

Para comprender la importancia ecológica que poseen los biocombustibles en la generación de energía y la capacidad de suplir la demanda de las principales fuentes energéticas (carbón, petróleo y gas natural), es importante conocer la definición de **Biocombustible**; el cual comprende a todas aquellas *sustancias combustibles, que se encuentran en estado sólido, líquido o gaseoso elaborados a partir de biomasa, y que pueden ser utilizados en la generación de energía* (Martínez, 2004).



Figura1-1: Producción y uso de los biocombustibles en la actualidad.¹

Dentro de la definición de biocombustible se habla de **biomasa**, y se define como *toda sustancia orgánica renovable proveniente de dos tipos de fuentes: animal y vegetal, y durante toda su etapa de desarrollo, esta materia orgánica acumula energía que puede ser aprovechada en las diferentes actividades humanas* (Milliarum, 2004).

Estos dos conceptos son igualmente importantes, ya que para producir y aprovechar un biocombustible; se debe considerar el tipo de materia orgánica adecuado para su producción.

¹ Fuente: CSD- GEOKLOCK, (2005).

Debido a la importancia energética que representa la biomasa, la clasificación más aceptada es la siguiente²:



Figura 1-2: Ejemplo de biomasa natural³

1. BIOMASA NATURAL

Su generación es de manera natural en el medio ambiente, sin la intervención humana. Sin embargo para poder aprovechar este tipo de fuente energética, se hace necesario gestionar la adquisición del recurso y un transporte adecuado al lugar de extracción, resultando en una acción económicamente no factible.

2. BIOMASA RESIDUAL



Figura 1-3: Ejemplo de biomasa residual seca³.

a. BIOMASA RESIDUAL SECA:

Son los residuos de las actividades de agricultura (leñosa y herbácea), forestal, industria maderera y agroalimentaria, y que aún pueden ser utilizados y considerados como subproductos. Como ejemplo se puede considerar el aserrín, el bagazo de caña, granza de cáscara de café, las podas de frutales, etc.

² Fuente: Milliarum, (2004).

³ IEA – BIOENERGY, (2003)



Figura 1-4: Ejemplo de biomasa húmeda⁴.

b. BIOMASA RESIDUAL HÚMEDA

Son los vertidos biodegradables provenientes de las aguas residuales urbanas e industriales y los desechos generados en la ganadería (principalmente la mezcla llamada purín que se compone de orín, agua de lluvia y estiércol).

3. CULTIVOS ENERGÉTICOS

Son cosechados con el fin de producir biomasa para ser transformada en Combustible. Estos cultivos los podemos dividir en:



Figura 1-5: Ejemplo de cultivo energético (Cultivo del tempate).

1. **Cultivos ya existentes** como los cereales, semillas oleaginosas, material sacárido como la caña y la remolacha.
2. **Lignocelulósicos forestales** como el sauce, árboles frutales y maderables como el pino y cedro.
3. **Lignocelulósicos herbáceos** como el café, bambú, zacate junco.
4. **Otros cultivos** como higüerillo, tempate.

⁴ IEA – BIOENERGY, (2003).

En el cuadro 1.1 se resumen los diferentes biocombustibles que pueden ser adquiridos a partir de biomasa:

Cuadro 1.1: Tipos de biocombustibles obtenidos a partir de los tres tipos de biomasa.

Tipos de biomasa	Biomasa	Combustible	Estado
Natural	Material lignocelulósico.	Leña, paja, astillas	sólido
Residual seca	Material lignocelulósico. Proveniente de: Agricultura Tala y poda de árboles. Industria maderera. Agroindustria: Beneficios y torrefactoras de café Arroz Ingenios azucareros	Leña, fibra combustible Carbón vegetal, leña Bioetanol por hidrólisis y fermentación Fibra combustible Fibra combustible Fibra combustible y etanol	Sólido Sólido sólido Líquido Sólido Sólido Sólido y líquido
Residual Húmeda	Aguas residuales Urbanas y excretas humanas Aguas residuales Industriales Residuos ganaderos como: Excretas de ganado Purín Residuos orgánicos alimenticios Grasas de ganado Grasas de aves de corral	Biogás Biogás, Gas de gasógeno Biogás Biogás Elaboración de biodiesel	gas gas gas gas líquido
Cultivos Energéticos	Cultivos ya existentes: Granos básicos Semillas oleaginosas Especies sacáridas Lignocelulósicos forestales: Cedro Pino y Eucalipto Árboles frutales sauce Lignocelulósicos herbáceos: Café Bambú Zacate Junco Otros cultivos Higuerrillo Tempate	Fibra combustible Aceites y elaboración de biodiesel. Etanol, hidrógeno Leña Aceites de pirolisis Leña Leña Leña Leña Leña Aceites y biodiesel Aceites y biodiesel	Sólido Líquido Líquido y gas Sólido Líquido Sólido Sólido Sólido Sólido Sólido Líquido Líquido

Cuadro elaborado a partir de Martínez, (2004).

La biomasa se utiliza ampliamente como fuente energética en todo el mundo; puesto que además de ser quemada directamente, constituye el material principal para obtener diferentes tipos de biocombustibles (cuadro 1.1). En El Salvador y en todos aquellos países en vías de desarrollo, el biocombustible de mayor uso lo constituye la leña, utilizándose generalmente para la preparación de los alimentos y en la generación de energía calorífica, (industria artesanal: panaderías, ladrilleras), sin embargo si su extracción se realiza de manera negligente puede ocasionarse una crisis ambiental, como por ejemplo, el deterioro de la superficie terrestre: desertificación, disminución de los nutrientes, disminución de la humedad entre otras (ArgenBio, 2004).

El cuadro 1.2 muestra los datos de producción nacional de leña para el período 1995-2002; puede observarse que en El Salvador, el consumo de leña se mantuvo significativamente constante en el año 2002, presentando una mínima disminución; reflejando para la leña un porcentaje de consumo energético del 59% frente a un 29% de consumo de petróleo y un 5% de consumo de energía eléctrica (Badía, S. E y Solano B. A, 2006), dejando muy claro que en el futuro, su uso no se verá disminuido, por ser un recurso energético muy popular⁵.

Cuadro 1.2: Producción de madera para leña, 1995-2002.

Año	Carbón Vegetal (m³)	Combustible de Leña (m³)
1995	16 606	4 518 000
1996	17 105	4 119 000
1997	17 462	4 519 000
1998	17 858	4 519 000
1999	18 294	4 520 000
2000	18 741	4 518 021
2001	19 030	4 518 129
2002	19 324	4 121 937

Fuente: Tomaselli y Cuéllar, (2004).

⁵ Fuente: Tomaselli y Cuéllar, (2004).

Por otra parte los combustibles fósiles: petróleo, gas natural y carbón mineral, que tradicionalmente incrementarán su demanda mundial en los próximos 50 años, (ver anexo 2.0); provocando un aumento gradual de la crisis energética que actualmente se vive; en el anexo 2.1y 2.2, puede observarse la reserva mundial del petróleo para el año 2005, y según Salaverría, (2005), esta provisión podría estar disminuyendo en un 5% por año.

Ante una nueva crisis petrolera, la investigación e innovación de tecnología ha tomado importancia, con el fin de prescindir del petróleo a largo plazo.

En su mayoría se han estudiado a nivel mundial tres tipos de biocombustibles capaces de reducir la demanda de los combustibles fósiles; estos son: **BIOETANOL, BIOGAS, BIODIESEL** (ArgenBio, 2004).

1.1 BIOETANOL⁶

El uso de bioetanol comenzó con Henry Ford en el año 1908, al diseñar su primer automóvil, promovió el empleo de etanol como combustible (por el cual se fabrica a partir de fuentes renovables). En la década de 1920 se comercializó en Estados Unidos un 25% de etanol en la gasolina; no obstante, los altos precios del maíz, combinados con dificultades en el almacenamiento y transporte, hicieron concluir el proyecto.

En la década de 1930, Henry Ford y varios expertos reunieron esfuerzos y lograron construir una planta de fermentación para producir etanol a partir de maíz y usarlo como combustible de motores, al que llamaron "gasohol". Finalmente en la década de 1940, la disminución de los precios del petróleo llevaron al cierre de la planta de producción de etanol, y el gasohol fue reemplazado por el petróleo.

⁶ Fuente: ArgenBio, (2004).

En la actualidad, nuevamente se está dando el interés en el reemplazo de combustibles fósiles por aquellos renovables y limpios, por lo que el bioetanol se presenta como una alternativa atractiva.

En El Salvador, el etanol (C_2H_5OH) se produce principalmente a partir de la caña de azúcar (o a partir de melaza generada en la producción de azúcar); en Europa se produce principalmente de la remolacha y la papa; también es posible producirla a partir de maíz (en algunos casos el maíz es mezclado con un poco de trigo o cebada), u otras sustancias con alto contenido de carbohidratos, los cuales son fermentados a etanol por las levaduras del género *Saccharomyces*.

La producción de bioetanol se da por la fermentación de los azúcares que se encuentran contenidos en las plantas, obteniéndose alcohol con un 5% de agua que después de deshidratarlo, puede ser utilizado como combustible (CITME, 2006).

La figura 1.6 describe el proceso de obtención del bioetanol a partir de las siguientes materias primas⁷:

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

El anexo 3.1, muestra los diferentes procesos de producción del bioetanol, para cada uno de estos tres tipos de materiales⁷.

⁷ Fuente: CITME, (2006).

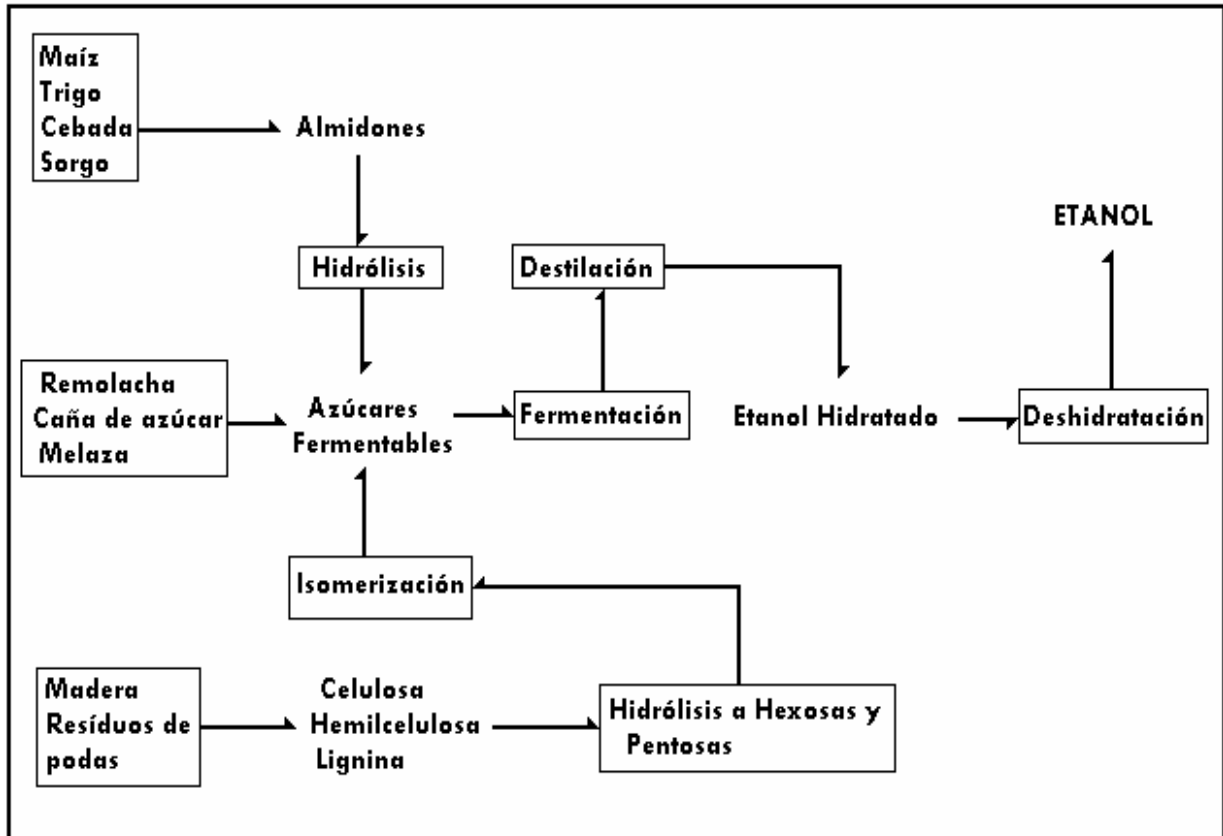
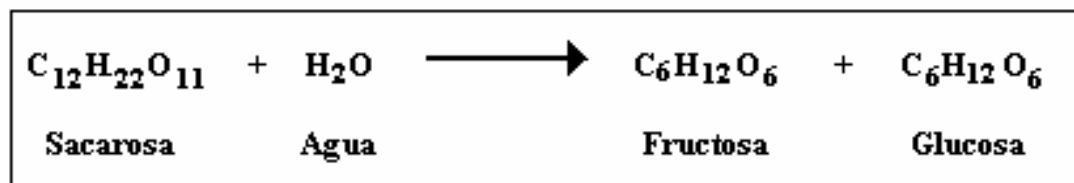


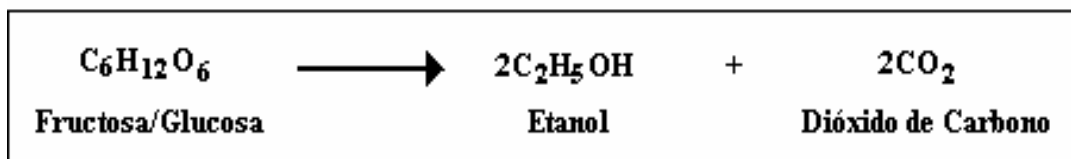
Figura 1-6: Proceso de producción de bioetanol a partir de las principales materias primas. (CITME, 2006)

Para ilustrar el proceso de fermentación de los azúcares se tomará como ejemplo la fermentación de la base sacarosa mostrada a continuación (CITME, 2006):

1. **Hidrólisis** de la *sacarosa a glucosa y fructosa* a partir de la enzima llamada *invertasa* que contienen las levaduras.



2. **Fermentación** de la *glucosa y fructosa*, por la acción de las levaduras (por ejemplo: *Saccharomyces Cereviciae*) con el que se obtiene etanol y dióxido de carbono (CO_2), (CITME, 2006).



El ejemplo anterior, demuestra cómo se produce la fermentación a partir de moléculas complejas de los azúcares, por lo que partiendo del conocimiento de las reacciones fundamentales, se han diseñado varias tecnologías encaminadas a la eficiencia y reducción de costos.

Por otra parte, la caña de azúcar es la fuente más atractiva para la producción de etanol, ya que los azúcares que contiene son simples y fermentables directamente por las levaduras. El mayor inconveniente asociado a la caña de azúcar, es que resulta costoso como materia prima. Los cultivos como el maíz son ricos en almidón, un hidrato de carbono complejo que necesita ser primero transformado en azúcares simples. Este proceso se denomina sacarificación, e introduce un paso más en la producción, con la consecuencia que provoca el aumento en los costos.

La producción de etanol puede realizarse a partir de desechos agrícolas, forestales, industriales o municipales. Las materias primas ricas en celulosa, como los desechos agrícolas y forestales son las más abundantes y baratas, sin embargo la conversión de la celulosa en azúcares fermentables es un proceso complejo y costoso que hace que la obtención de etanol a partir de desechos no sea rentable, al menos por ahora.

Los principales productores de alcohol como combustible son Brasil, Estados Unidos e Indonesia (ver Anexo 3.1 y 3.2), encabezando la lista de los diez primeros exportadores de etanol en el mundo (CITME, 2006). Brasil lo produce a partir de la caña de azúcar y lo emplea como “hidro-alcohol” (95% etanol) o como aditivo de la gasolina en forma de ETBE (Etil Ter Butil Éter) (24% de etanol). Estados Unidos lo produce a partir de maíz (con un poco de trigo y cebada) y es el Biocombustible más utilizado en diferentes formulaciones que van desde el 5% al 85% de etanol (ArgenBio, 2004), también sirve como aditivo de la gasolina, para mejorar las propiedades de ignición del combustible en los motores, dando múltiples beneficios entre ellos menos daños a la salud y al ambiente (CITME, 2006).

1.2 BIOGAS⁸

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (Textoscientíficos, 2006).

En la obtención de biogás, puede utilizarse como materia prima la excreta animal y humana, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal.

Este biocombustible puede suplir de manera parcial la demanda energética en zonas rurales, reducir la deforestación debida a la tala de árboles para leña, permitir reciclar los desechos de la actividad agropecuaria y además, es un recurso energético “limpio” y renovable.

⁸ Nota: este apartado está basado en: ArgenBio, (2004).

El biogás puede obtenerse por la fermentación anaeróbica del material biológico, en la que intervienen cuatro tipos específicos de bacterias las cuales son:

- a. **Las hidrolíticas**, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos poli carbonados.
- b. **Las acetogénicas**, productoras de hidrógeno, y también de ácido acético.
- c. **Las homoacetogénicas**, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos carbonados en ácido acético.
- d. **Las metanogénicas**, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de 40 a 70 % de metano (CH₄).

El proceso de formación de biogás se resume en el cuadro 1.3, el cual se lleva a cabo en tres etapas:

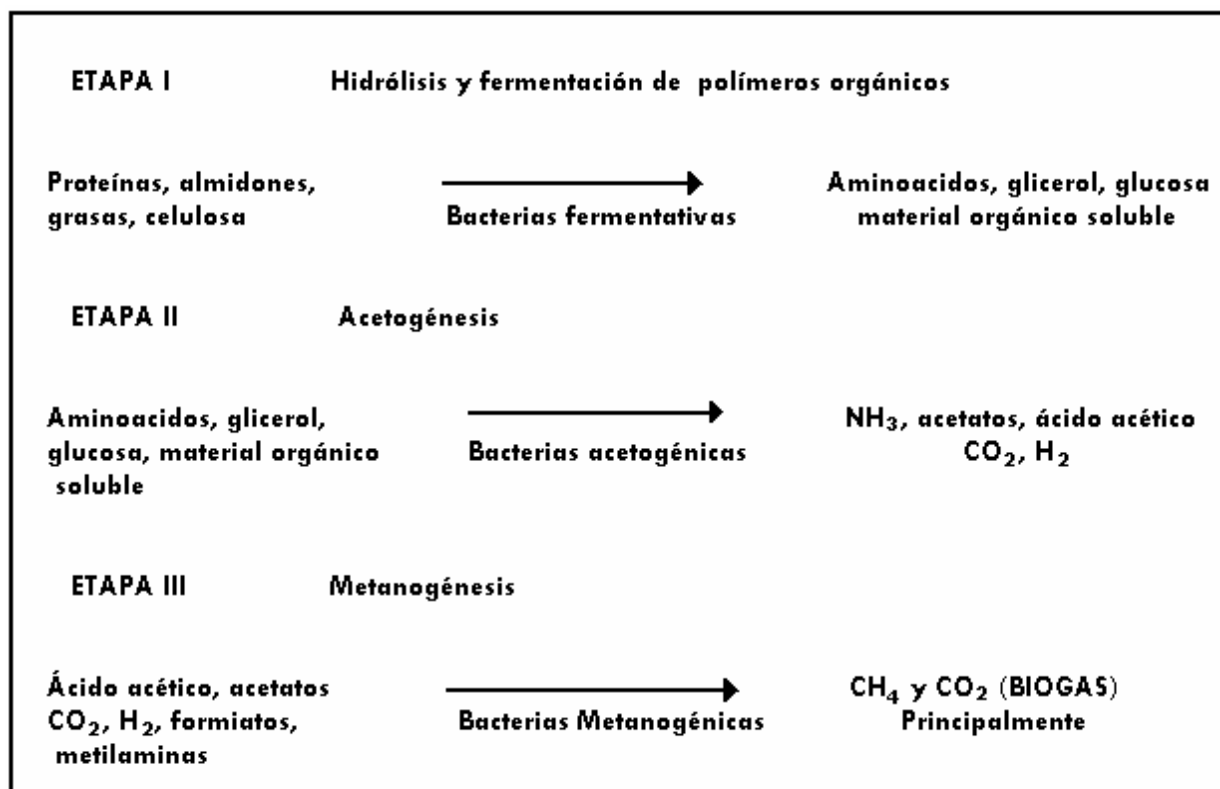
- a. Fermentación de la materia orgánica, producto de las bacterias fermentativas.
- b. Producción de ácido acético a partir de los productos de la primera reacción, con ayuda de las bacterias productoras de ácido acético.
- c. Producción de metano, por acción de las bacterias metanogénicas, el metano se encuentra en mayor proporción.

El biogás generado en los digestores es rico en metano (CH₄), y puede ser empleado para generar energía eléctrica o mecánica mediante su combustión, sea en plantas industriales o para uso doméstico.

Algunas ventajas del empleo de biogás:

- ♦ Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.
- ♦ Presenta diversidad de usos: alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros.
- ♦ Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- ♦ Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.

Cuadro 1.3: proceso de obtención de Biogás a partir de la acción microbiana.



Fuente: Rico Peña, (2005).

1.3 BIODIESEL.

El uso de aceites vegetales como combustible, comenzó con el diseño del primer prototipo de motor que Rudolf Diesel ideó cien años atrás; haciéndolo funcionar con aceite de maní. El consideraba que los motores diesel operarían a base de una variedad de aceites vegetales. Sin embargo; después de la muerte de Diesel, la industria petrolífera se adueñó del surgimiento del motor de diesel dando el nombre de “combustible diesel” a uno de los subproductos del proceso de destilación del petróleo, olvidando así que este motor podía funcionar con cualquier tipo de aceite. A mediados de la década de 1970, la escasez de combustible en los Estados Unidos estimuló el interés en diversificar sus fuentes y con ello el interés en desarrollar biodiesel como una alternativa al fabricado con petróleo (ArgenBio, 2004).

Teniendo en cuenta el crecimiento de la demanda energética, los problemas ambientales, las preocupaciones crecientes sobre la posibilidad de un cambio global del clima causado en parte por las emisiones gaseosas de los motores, se está agregando más ímpetu al desarrollo de biodiesel como una alternativa al diesel de petróleo (ver Anexo 1.2). En la década de 1940, los países Europeos efectuaron pruebas con distintos aceites obteniéndose excelentes resultados; iniciando así la investigación de combustibles alternativos (UNI, 1997).

Durante la década de 1980 se realizaron las primeras pruebas técnicas con biodiesel, estas se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de RME (Rapeseed Methyl Ester - metil éster aceite de semilla de colza) (UNI, 1997).

Luego de Europa, el continente Americano inició sus investigaciones sobre este tipo de combustible, basando sus experimentaciones en los resultados obtenidos por los Europeos, los primeros en aventurarse fueron Estados Unidos y algunos países de América del Sur, entre ellos la República de Argentina, Uruguay, Ecuador y Brasil obteniendo resultados favorables con diversos aceites (UNI, 1997).

Tanta fue la importancia en desarrollar y perfeccionar la producción que durante el período 2000 -2003, Estados Unidos y Argentina, tenían ya normalizada la producción y caracterización del biodiesel. En otros países de Sudamérica aun están en etapa de investigación y desarrollo, y otros como Uruguay ya tienen en funcionamiento una planta piloto de producción de biodiesel.

En Centroamérica y el Caribe el proyecto de biodiesel se encuentra en sus inicios, se tienen investigaciones que datan desde el año de 1993, investigando el uso potencial que posee el Tempate (*Jatropha curcas*) para la elaboración de dicho combustible; este estudio proviene de Nicaragua quien en colaboración con Organismos no Gubernamentales e Instituciones Educativas, realizaron estudios sobre el potencial energético del Tempate (UNI, 1997).

En El Salvador, desde hace unos pocos años el biodiesel se encuentra en etapa de investigación, se han trasladando las experiencias de otros países. A inicios del año 2000 se realizaron experimentaciones con aceite de ricino (*Ricinus communis*) y Tempate (*Jatropha Curcas*), debido a ello se tiene instalada una planta piloto en el departamento de San Miguel. Esta planta empezó a funcionar a inicios del año 2006; y actualmente se está llevando a cabo, una etapa de investigación y desarrollo del cultivo del Tempate el cual es impulsado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), en coordinación con el Centro Nacional de Transformación Agraria (CENTA), Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria (FIAGRO), y empresas extranjeras (firma inglesa petrolera D1 OIL).

La investigación y desarrollo de otros tipos de fuentes para producción de biodiesel, está tomando cada vez más fuerza en El Salvador; dentro de este contexto se ubica este trabajo, cuyo propósito es: “evaluar las fuentes existentes en el país para ser aprovechadas a plena capacidad, y así realizar una investigación más profunda de los mismos, para disponer de un combustible, limpio y amigable al medio ambiente.

2. FORMAS DE EMPLEAR LOS ACEITES VEGETALES COMO COMBUSTIBLE.⁹

Como se mencionó en la sección 1.3 Rudolf Diesel utilizó en sus inicios aceite vegetal para el funcionamiento de los motores que llevan su nombre. Hoy en día el aceite vegetal puede usarse de tres formas para llevar a cabo la operación de los mismos:

- ♦ Mezcla de aceite con queroseno (parafina), diesel o biodiesel.
- ♦ Uso directo. Combustible de Aceite Vegetal (CAV)
- ♦ Conversión a Biodiesel.

El uso combinado (mezcla con combustible fósil o biodiesel) y el uso directo del aceite, presenta una facilidad para su aprovechamiento y producción; sin embargo, muestra ciertas desventajas que se describirán en las secciones siguientes:

2.1 MEZCLA ACEITE CON QUEROSENO (PARAFINA), DIESEL O BIODIESEL

Al realizar la mezcla de aceite vegetal con queroseno o con diesel indiscutiblemente se utiliza combustible fósil; aunque no proporciona el máximo beneficio ambiental, es importante considerar que por cada litro de aceite vegetal que se agrega a la mezcla se ahorra un litro de combustible fósil y se emite a la atmósfera menor cantidad de dióxido de carbono.

Regularmente se utiliza una mezcla de 70% de aceite y un 30% de queroseno; también es común la mezcla al 50%. Después de ser mezclado puede utilizarse directamente, sin embargo existen opiniones acerca de la necesidad de realizar un precalentamiento, o la adición de un sistema de dos depósitos.

⁹ Fuente: Addison,(2005)

Al realizar la mezcla de aceite con biodiesel (generalmente suele mezclarse al 50%), no es conveniente utilizarlo en motores no aptos para mezclas de este tipo.

No es recomendable realizar y utilizar mezclas, pero en aquellos países con clima frío resulta ventajoso. Al mezclar el aceite con queroseno o diesel fósil (derivado del petróleo) en combinación con el biodiesel, evita que la mezcla se congele cuando se disminuye a una temperatura menor que 0°C.

Para evitar esta problemática es necesario reducir la viscosidad del aceite agregando un disolvente. El disolvente de mayor uso es el disolvente de Stoddard (aguarrás mineral) un sucedáneo del aguarrás; empleándose generalmente un 3% del mismo; la mezcla de aceite vegetal con otros disolventes, como por ejemplo: butanol o etanol, aún se encuentra en fase experimental y por lo tanto no existe garantía que funcione (Addison, 2005).

2.2 USO DIRECTO DEL ACEITE VEGETAL

Para emplear aceite vegetal como combustible (CAV: Combustible de Aceite Vegetal) primeramente se debe arrancar el motor con combustible ya sea fósil o biodiesel para luego hacer el cambio al aceite vegetal y volver a cambiar al diesel antes de parar el motor.

Al omitir este paso se formará una costra de restos quemados en los inyectores y en otras partes del motor. Por lo que es necesario un sistema de dos depósitos de combustible (es difícil en los motores diesel porque su circuito de combustible es hermético); también es necesario un precalentamiento del aceite para reducir su viscosidad.

Usar aceite vegetal, con biodiesel para arrancar y parar, puede ser una alternativa limpia, económica y efectiva. Sin embargo, realizar los cambios del combustible al aceite vegetal puede resultar fastidioso de cada vez que el auto sale y entra en reposo.

2.3 CONVERSIÓN A BIODIESEL

El biodiesel es un combustible sustituto del diesel para motores diesel, el cual puede ser producido partiendo de materias primas agrícolas (aceites vegetales y/o grasas animales) y metanol o etanol puro (el cual también puede ser producido a partir de residuos de la agricultura).

El biodiesel posee propiedades similares a las del combustible diesel y también puede ser utilizado en automóviles, camiones, autobuses y transporte marítimo; el biodiesel puede mezclarse en cualquier proporción con el diesel fósil, la proporción más común oscila entre un 5 – 25% de biodiesel respecto al petrodiesel o también puede utilizarse puro (biodiesel 100%) (Larosa, 2001).

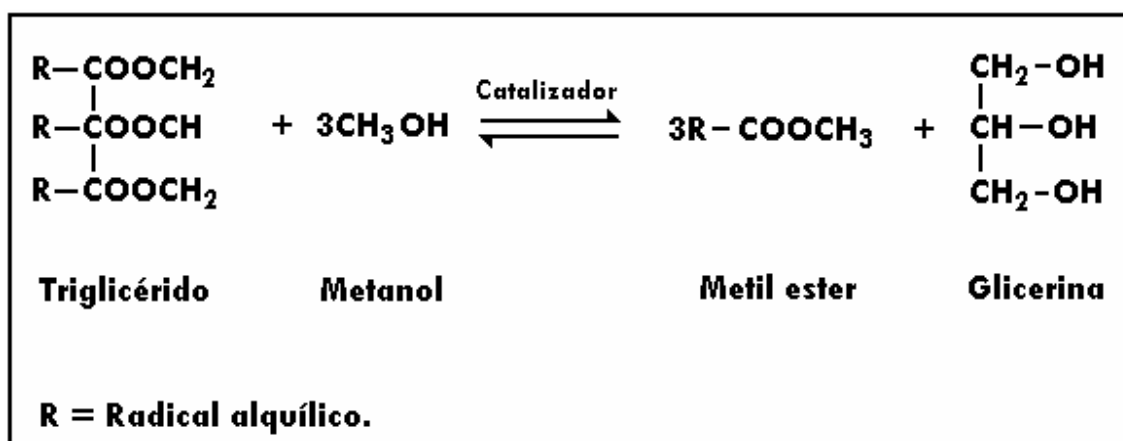
Desde el punto de vista químico, el biodiesel se define como esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadenas largas derivados de lípidos naturales. La materia prima fundamental para la producción de biodiesel en Europa es la colza o canola (*Brassica juncea*), ya que es la oleaginosa más abundante y económicamente cultivable.

Sin embargo, también puede emplearse otros tipos de materias primas tales como: el aceite de girasol, de palma, de soja, grasas animales de bajo costo y el aceite usado en frituras (Larosa, 2001).

El proceso de elaboración del biodiesel está basado en la llamada **Transesterificación** de los triglicéridos, y para que su reacción sea efectiva es necesaria la adición de catalizadores. En las grasas animales y aceites vegetales hay una mezcla de ácidos grasos y triglicéridos, es decir tres cadenas moleculares largas de ácidos grasos unidas a un alcohol, el glicerol (ver sección 7.0).

En la reacción de Transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol para dar tres moléculas de monoésteres y una de glicerol; obteniéndose así un aproximado del 10% de glicerina y un 90% de biodiesel del producto total. (ArgenBio, 2003).

La reacción general del proceso de Transesterificación es la siguiente:



El glicerol producido en la reacción de transesterificación, una vez recuperado y refinado puede emplearse en distintos campos como son: industria química (plásticos, pinturas, conservantes), cosmética, farmacéutica, explosivos (Larosa, 2001).

Cabe señalar que durante el proceso de producción debe tenerse en cuenta: las normas de seguridad y las debidas consideraciones ambientales para lograr que el proceso productivo sea seguro y significativamente limpio, también, es importante destacar que los reactivos químicos como son: el metanol, hidróxido de sodio y ácido sulfúrico constituyen un insumo riesgoso si no se tiene un óptimo control, manejo y almacenamiento de los mismos, por lo que las personas no capacitadas nunca deben de manipularlos si ellos no poseen conocimientos de las medidas mínimas de seguridad (Larosa, 2001).

Comparando las diferentes formas de emplear el aceite como combustible de motores; puede observarse que:

El biodiesel aventaja al aceite vegetal; dado que funciona en cualquier motor diesel sin mayor modificación; no requiere un sistema de doble almacenamiento y precalentamiento. Su uso y funcionamiento es adecuado en países con clima frío, aunque no se iguala satisfactoriamente como en el diesel fósil, constituye una alternativa limpia (Addison, 2005).

Las ventajas anteriores demuestran que es más conveniente transformar los aceites vegetales a biodiesel, ya que algunos de los sistemas CAV se encuentran aún en fase experimental y necesitan una mayor investigación y desarrollo.

No obstante, el costo del biodiesel puede ser elevado, ya que depende de la materia prima que se utilice; puesto que, al ser fabricado con aceite usado (residual), su precio será muy diferente al ser fabricado con aceite nuevo; y también el tratamiento del biodiesel es más complejo que el del aceite. Sin embargo, el número de personas que producen biodiesel aumenta rápidamente en todo el mundo, sin tener en cuenta estas consideraciones (Addison, 2005).

Dependiendo de la manera que sea utilizado el aceite (CAV, o biodiesel); es necesario procesarlo, principalmente el usado (preferido por mucha gente por ser barato o incluso gratuito) que necesita un pre-tratamiento para ser utilizado como combustible.

Las personas que producen biodiesel, son de la opinión que es mejor aprovechar el aceite convertido en biodiesel; mientras, que sus contrapartes opinan que resulta mejor utilizar el aceite directamente; ya que consideran que es menos trabajoso limpiar el aceite que hacer biodiesel (Addison, 2005).

En el cuadro 2.1 se muestra una comparación de biodiesel y aceite vegetal utilizado como combustibles.

Cuadro 2.1: Comparación de ventajas entre biodiesel y aceite vegetal.

	Necesita ser procesado	Fiabilidad	Modificaciones en el motor	Es mas barato
Biodiesel	Sí	Sí	No	A veces
CAV	menos	No	Sí	Normalmente sí

Fuente: Addison, (2005)

2.4 PRETRATAMIENTO DE ACEITES Y GRASAS.

Antes de que las grasas animales y los aceites vegetales (residuales y/o nuevos) entren al proceso de transesterificación, es importante darles un tratamiento previo, y así obtener un alto rendimiento en el proceso de transesterificación, reducción de costos en el proceso y una mayor duración de los reactores.

Para ello es necesario que el aceite se someta a un análisis de calidad, para verificar las condiciones en las que se encuentra esta materia prima, entre los análisis de importancia están: ácidos grasos libres, índice de yodo, contenido de agua y sedimentos, viscosidad, densidad y cantidad de glicerina o de triglicéridos. Estas son algunas de las propiedades de mayor importancia, (ver sección 7.4).

Si los análisis revelan que estas materias primas se encuentran fuera de un margen estándar, se necesita un tratamiento para poder dar inicio al proceso.

Los tratamientos más comunes que suele dárseles a los aceites y grasas son¹⁰:

a. EVAPORACIÓN:

Si la materia prima, posee un alto contenido de humedad presente, entonces se hace necesario calentar en evaporadores a una temperatura de 60 -70 °C, para reducir o eliminar la fracción de agua contenida en él, posteriormente la temperatura debe llegar a la temperatura del proceso (35 – 55 °C).

b. FILTRADO:

Generalmente los aceites nuevos no contienen sólidos suspendidos, ya que durante su proceso de producción, este pasa por un filtro eliminando todas las partículas que quedan suspendidas, sin embargo, pueden adquirir sólidos provenientes de sus contenedores, ya sea por que no se encuentren limpios adecuadamente o por el desgaste que sufren al uso frecuente.

El proceso de filtrado, se debe realizar antes de la evaporación, y el material filtrante puede ser fieltro u otro material como lona y/o algodón, para garantizar la duración del material filtrante.

Estos filtros se deben limpiar después de cada operación y así evitar la acumulación de sólidos y la disminución de eficiencia en este proceso.

c. NEUTRALIZACIÓN:

Todos los aceites y grasas poseen una cierta concentración de ácidos grasos libres, en los aceites nuevos su concentración es menor; pero en aceites usados provenientes del proceso de cocción de los alimentos esta concentración es significativamente mayor, donde también se acumula agua y sólidos. Dependiendo si el proceso de transesterificación utilizado es el básico, podría ser necesario neutralizar estos ácidos con una base antes de proseguir con el proceso de transesterificación.

¹⁰ Fuente: Addison, (2005) y Kac (2005).

Las bases neutralizadoras más utilizadas, son hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, que al mismo tiempo constituyen los catalizadores del proceso de transesterificación. Durante la neutralización los ácidos grasos libres se convierten en jabones los cuales hay que eliminar y así evitar problemas durante el proceso de transesterificación.

En el anexo 4.0 se muestra un proceso más detallado, de la neutralización de los ácidos grasos libres contenidos en aceites y grasas.

3. PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Para lograr la conversión de los aceites vegetales (nuevos o usados) y grasas animales a metil o etil ésteres existen tres métodos:

3.1 CONVERSIÓN DE UNA ETAPA A ÉSTER METÁLICO O ETÍLICO EN MEDIO BÁSICO.

Este proceso simple y económico, se ejemplifica en la figura 3.2; mostrando la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal crudo de características conocidas, reacciona a temperaturas moderadas (valor máximo de 65°C) con metanol o etanol en presencia de un catalizador alcalino. Típicamente se utiliza hidróxido de sodio o de potasio. A término de dos horas bajo condiciones de constante agitación, los triglicéridos (moléculas complejas que forman el aceite y que le dan su consistencia viscosa), reaccionan completamente con el metanol para formar cadenas de metil-éster (biodiesel) y glicerina, un producto secundario de valor comercial (Probst, 2001).

Al emplear el método básico en aceites usados o grasas animales; se tendrá una disminución de los metil esteres, debido a que en estas materias primas existen principalmente una mezcla de triglicéridos, ácidos grasos libres y agua; dando lugar a que una parte de los triglicéridos sea convertida en sales metálicas debido a la reacción de saponificación (jabón) en presencia de agua, así mismo, los ácidos grasos libres son neutralizados con el catalizador básico, obteniéndose como producto principal una sal metálica (jabón), este mecanismo puede observarse en el sistema reaccionante esbozado en la figura 3.1(NREL, 2004):

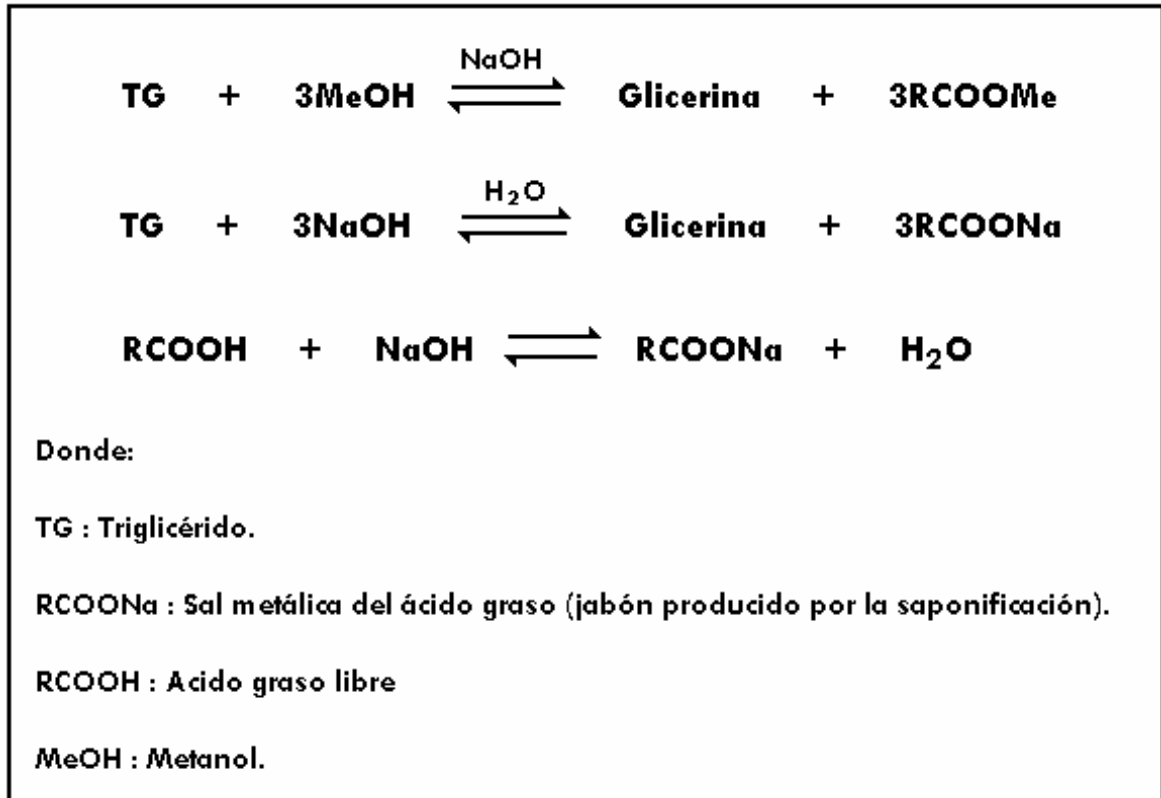


Figura 3-1: Sistema reaccionante para el método básico a partir de aceite usado y grasa animal con concentraciones elevadas de ácidos grasos libres (Dalla, Pisarello y Querini, 2004).

Para utilizar este método en aceites y grasas residuales, primeramente debe realizarse la neutralización de los ácidos grasos libres y luego eliminar los jabones remanentes, cuando este paso se haya realizado, entonces debe realizarse la transesterificación.

También existe el método básico en dos etapas, esto es para garantizar una mayor conversión, sin embargo los ácidos grasos libres de los aceites usados constituyen un problema en la reacción puesto que requieren que el metanol y el catalizador básico se encuentren en exceso; es importante que los reactivos tengan una alta pureza para no disminuir la eficiencia de la reacción.

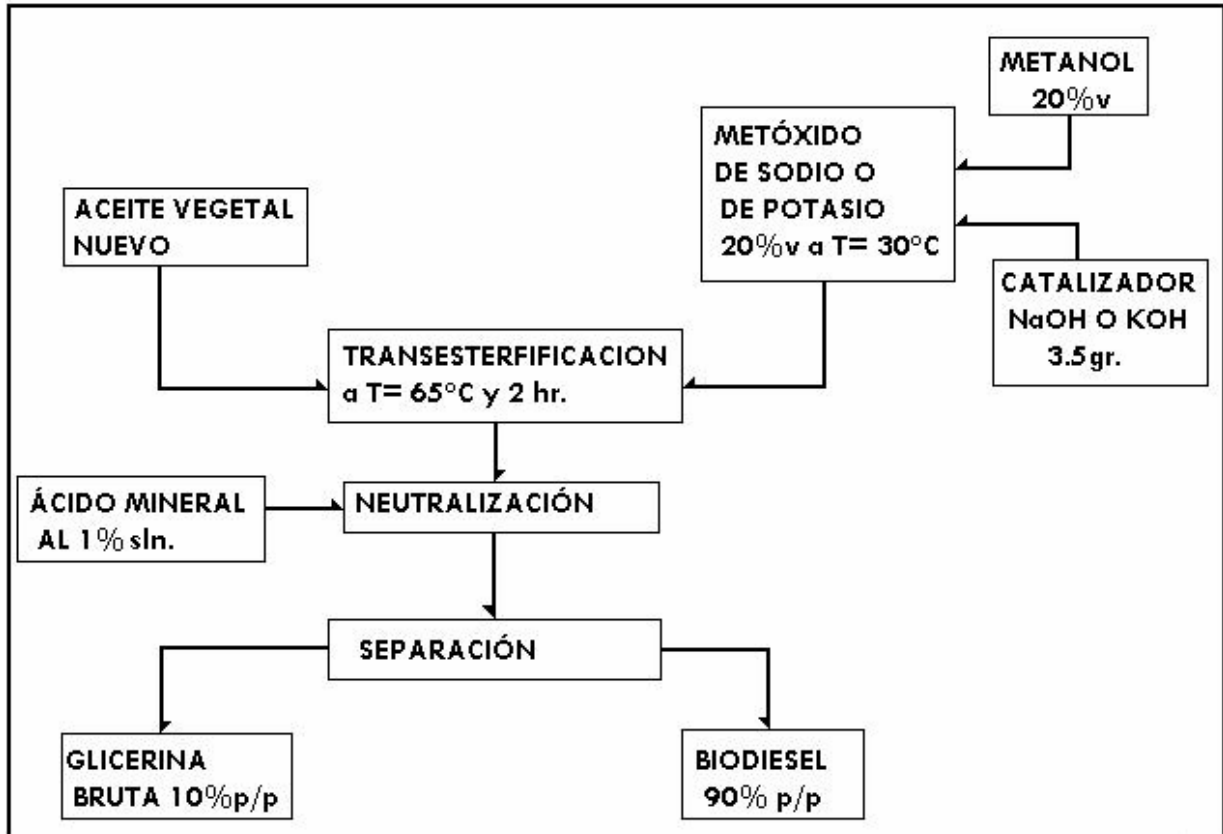


Figura 3-2: Esquema de la producción de biodiesel en un proceso por lotes a partir del aceite vegetal crudo (Probs, 2001).

Al final de la etapa del proceso tomando como insumo principal el aceite vegetal nuevo se logra lo siguiente:

- ♦ Elevada conversión (98%) con pocas reacciones secundarias y reducido tiempo de reacción.
- ♦ Conversión directa a Ester metílico sin pasos intermedios.
- ♦ Materiales de construcción estándar.
- ♦ 90%p/p de biodiesel¹¹ y 10%p/p de glicerina bruta¹¹.

¹¹ Nota: la glicerina que se produce no es completamente pura, puesto que se encuentra en mezcla con el catalizador contenido, al igual que el biodiesel no está completamente puro por lo que es necesario e importante la etapa de refinamiento, para aumentar la calidad de estos dos productos.

3.2 CONVERSIÓN DE ÉSTER METÁLICO EN MEDIO ÁCIDO

En este método el proceso es similar que en la Transesterificación en medio básico, sin embargo, no es muy común el utilizarlo en la producción, ya que su proceso es muy lento por depender del equilibrio químico y consecuentemente aumenta el gasto del alcohol, provocando que el precio del biodiesel aumente significativamente; sin embargo constituye una etapa importante para el método siguiente (Kac, 2005).

3.3 CONVERSIÓN DE ÉSTER METÁLICO EN DOS ETAPAS: PROCESO ÁCIDO- BASE.

Este método es una combinación de los dos métodos anteriores, ya que proporciona mayor eficiencia en la conversión del biodiesel en materiales de elevada acidez.

Primera etapa: FASE ÁCIDA, empleándose normalmente, ácido sulfúrico como catalizador, el cual convierte los ácidos grasos libres a ésteres; en esta etapa se da la **esterificación**, evitando que los ácidos grasos se combinen con el metal del hidróxido que induce a la formación de jabón y ocasione problemas con la reacción, este proceso también puede utilizarse en grasas y aceites crudos, y el proceso no se modifica (Kac, 2005).

Segunda etapa: FASE ALCALINA, produciéndose la Transesterificación tal y como se describe en el método básico, tal y como se mencionó en la sección 3.1 la Transesterificación ácida puede darse, sin embargo se requiere de alcohol en exceso para esterificar todos los ácidos grasos libres y debido a que la reacción es muy lenta (depende del equilibrio), el costo de producción aumentaría significativamente, sin embargo este proceso ayuda a disminuir el requerimiento de hidróxido (Kac, 2005).

En la etapa básica es necesario neutralizar el catalizador ácido, y luego se da marcha a la transesterificación, las moléculas de agua se mezclan con el ácido sulfúrico, formando sales sulfatadas de sodio solubles en agua, lo que favorece que el metal no intervenga en la reacción (Kac, 2005). En la figura 3.4 se resume esta etapa (Larosa, 2001).

La ventaja principal que posee el método ácido-base, empleado en aceites usados y grasas animales, es que logra evitar o al menos disminuir la reacción de saponificación, debido a que en la etapa ácida, los ácidos grasos se transforman en metilesteres debido a la reacción de esterificación; en la etapa básica se da la transesterificación de los triglicéridos, disminuyendo de esta manera la formación de sales metálicas, y logrando un aumento en el rendimiento del biodiesel (CITME,2006), el sistema reaccionante se esquematiza en la figura 3.3:

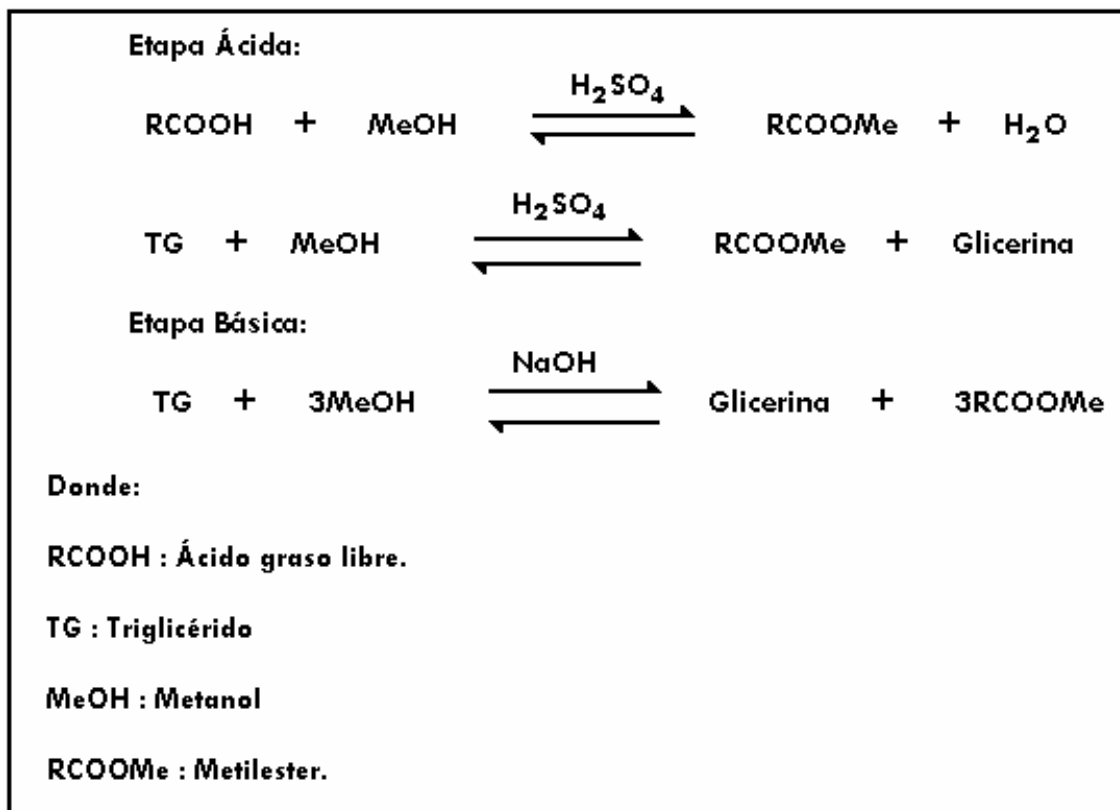


Figura 3-3: Sistema reaccionante para el método ácido-base, a partir de aceite usado y grasa animal con concentraciones elevadas de ácidos grasos libres (Dalla, Pissarello y Querini, 2004).

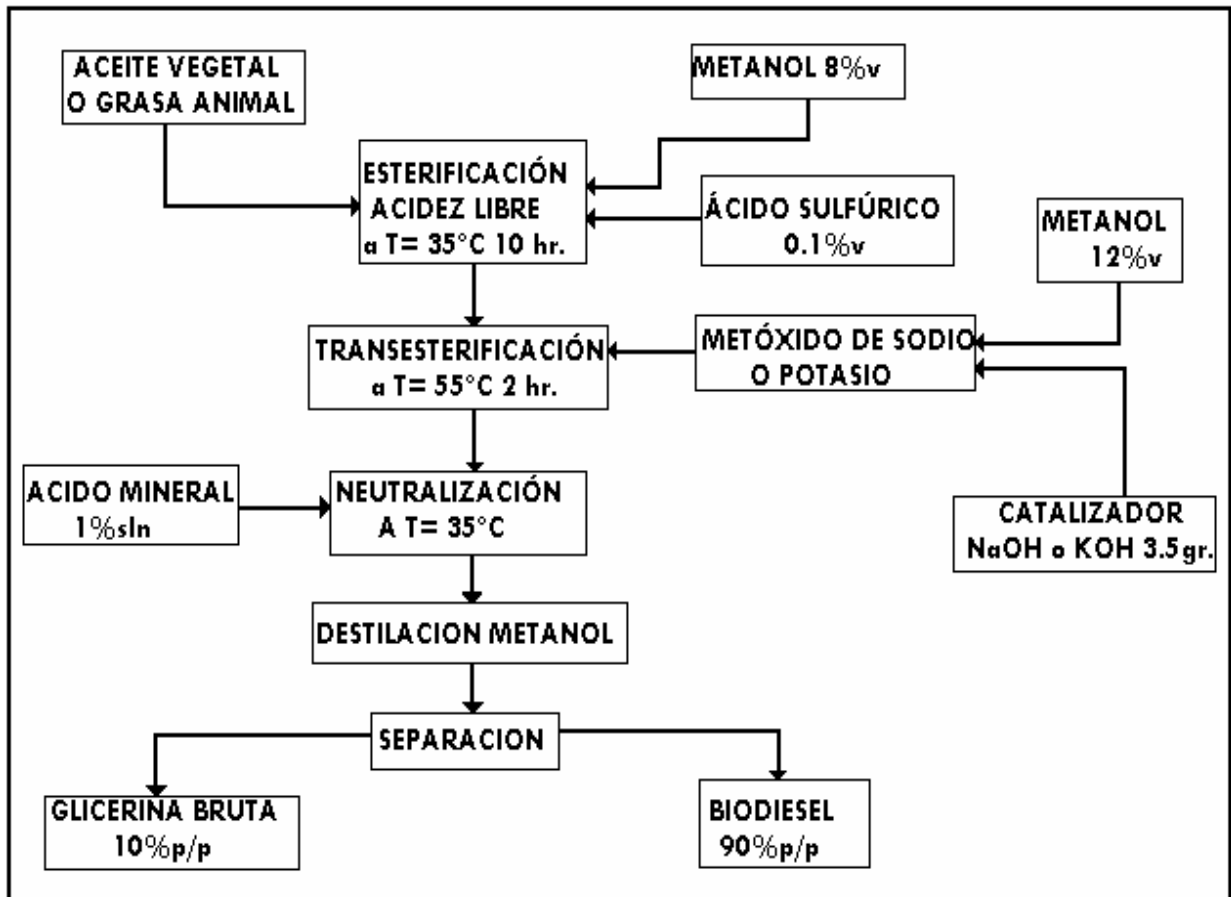


Figura 3-4: Diagrama de flujo de proceso de fabricación de biodiesel (Larosa, 2001).

Estas son las tres formas en las cuales puede llevarse a cabo la conversión de un material graso a biodiesel, estos procesos pueden combinarse en procesos continuo o discontinuo, lo que permite una variedad de distribuciones en el diseño y construcción de una planta productora de biodiesel.

3.4 LAVADO DEL BIODIESEL¹².

Al final del proceso de transesterificación, se hace necesario realizar una operación de lavado al biodiesel obtenido, dado que inicialmente tiene un pH entre 8-10, y al realizar esta operación el pH disminuye a 7, permitiendo que su uso no sea riesgoso en los motores (por la corrosión básica) y evitando su rápido desgaste.

Existen diferentes técnicas de lavado entre ellas están:

1. Lavado con niebla

Consiste en rociar el biodiesel con una nube de agua que cae en la superficie y no provoca perturbación del líquido, atravesándolo y llevando consigo las impurezas que acarrea a medida que caen las gotas a la base del recipiente; el proceso es aplicable, sin embargo, una desventaja es que para realizar este proceso se necesita mucho agua y aparte, el proceso es sumamente lento y para la producción comercial, el utilizarlo no sería económico.

2. Lavado con burbujas

Este método fue desarrollado en la universidad de Idaho, y es muy utilizado entre los productores caseros. Para realizarlo se emplea una bomba aireadora; en un recipiente se agrega el agua y el biodiesel, teniendo en cuenta que debe haber un exceso del 75%.

El agua permanece en el fondo mientras que el aireador empuja a las burbujas de aire que contienen gotas de agua hacia la superficie del biocombustible y luego el agua cae hasta la base arrastrando consigo las sustancias contaminantes (catalizador, alcohol no reaccionado, jabón formado), el proceso debe repetirse de tres a cuatro veces y con una duración de seis a ocho horas, al final de esta etapa el pH del biodiesel es de 7.

¹² Esta sección se tomó de Kac, (2005).

Entre sus desventajas están: consume mucho tiempo, no da evidencia de una reacción completa y se necesita mucha agua.

3. Lavado por agitación

Consiste en colocar en un recipiente, la mezcla agua- biodiesel con un exceso del 75% de agua y con un agitador se mezcla homogéneamente por cinco minutos, al final debe dejarse reposar por una hora.

La temperatura del agua debe oscilar entre 35-40°C, para evitar el problema de emulsiones, ya que a temperaturas muy frías, el lavado no se produce correctamente. Este es un método muy rápido y adecuado, puesto que puede observarse en una pequeña prueba si el aceite o grasa ha reaccionado completamente, de lo contrario conduce a la formación de una emulsión que puede ocasionar problemas a la hora de utilizarlo en el motor.

Al final se puede decantar y secar el biodiesel ya sea calentando a 70 -85°C para evaporar el agua o se puede recurrir a la destilación, para la separación de las dos fases pueden realizarse 2 – 3 operaciones.

Entre las desventajas están: puede provocar una formación de emulsiones y puede consumir mucho tiempo la separación de las fases.

3.5 COSTOS DE PRODUCCIÓN Y PRECIOS DE VENTA.

El precio final del biodiesel depende de ciertos factores como son:
Materias primas, costo de producción, impuestos y distribución.

Los costos más influyentes son los de las materias primas y los impuestos asignados por los gobiernos de cada nación (Wanadoo, 2003).

Para determinar el precio del biodiesel se debe incluir el costo del cultivo de la oleaginosa de origen; incrementándose significativamente; sin embargo, en la unión europea existen una serie de políticas económicas que ayudan a disminuir en gran parte los costes de producción de biocombustibles (Boyan y Peder, 2004), oscilando los precios entre 0.7 -0.80 €/lt (0.95-1.08 \$/Lt) de biodiesel en el año 2004 (Salaverría, 2005).

En América, aún no se está utilizando biocombustibles a gran escala, por lo que se ha tomado la estimación realizada en la República de Argentina para el año 2000, estos precios oscilan entre 0.50 -0.90 \$/lt. (Ugolini, 2000).

En Estados Unidos, se tiene conocimiento que se está utilizando una mezcla del 5% de biodiesel, sin embargo no se cuenta con suficiente información para declarar cuanto es el costo de producción de biodiesel en ese país.

Para estimar el costo de producción de biodiesel, debe tenerse en consideración los siguientes factores:

Costo de la materia prima, la inversión inicial realizada, impuestos sobre la inversión, costos de operación y de energía, costos de equipo empleado y de mano de obra, todas estas variables determinan en gran parte el precio final del producto a la salida del proceso. Dando como consecuencia, una significativa elevación del precio de venta del biodiesel, puro o mezclado (Ugolini, 2000).

En Alemania hay más de 1,500 gasolineras que suministran biodiesel, y es significativamente más barato que el diesel fósil. El biodiesel se usa mucho en Francia, que es uno de los países mayor productores de biodiesel en el mundo; utilizándolo como mezcla que oscila entre 2 - 5% de biodiesel con el diesel fósil. Gracias a las nuevas leyes de la Unión Europea los países pertenecientes a esta organización tienen la obligación de utilizar hasta un 5% de biocombustibles. Algunos Condados de EE.UU. están creando leyes similares mientras crece el número de proveedores (Addison, 2005).

En cuanto a los impuestos que se asignan al biodiesel, los gobiernos de cada nación a nivel mundial poseen, dependencias o departamentos que rigen y velan por la venta y calidad del mismo, y son ellos lo que asignan una determinada cantidad, por la venta y distribución de los combustibles para motores. En El Salvador el departamento gubernamental encargado de los impuestos de los hidrocarburos es el Departamento de Minas e Hidrocarburos, quienes tienen la labor de velar que la distribución sea de manera apropiada y que el combustible comercializado no se vea alterado.

4. PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A NIVEL MUNDIAL ¹³.

4.1 PRODUCCIÓN EN EUROPA

Las primeras pruebas de elaboración de biodiesel en Europa; enmarcaron los inicios de producción a escala industrial a partir del año 1992, esto se debe a los resultados favorables obtenidos durante sus investigaciones.

Para el año 2005 existían aproximadamente unas 40 plantas con producción de hasta 1,350,000 toneladas de biodiesel anuales, distribuidas en la Unión Europea. En el cuadro 4.1 se muestra la producción para el año 2004 y la capacidad instalada para el año 2005; así mismo en las Fig.4-1 y Fig.4-2 respectivamente, se visualiza gráficamente lo expresado en el cuadro 4.1 (Salaverría, 2005).

Los elementos que han contribuido a expandir la producción industrial del biodiesel en Europa son:

1. Establecimiento de La Reforma Política Agrícola Común (aprobado en 1992) que establece la reserva de algunas tierras utilizadas para la producción alimentaria. Esta política de “reservas” ofrece subsidio substancial y destina a las tierras en reserva para propósitos no alimentarios.
2. Aumento en la Demanda de Semillas Oleaginosas para Producción de Biodiesel. Durante el período 1995-1996; fue estimado un incremento del 50% en la cantidad de tierra reservada para el cultivo de semillas oleaginosas para fines industriales equivalente a 0.9 millones de hectáreas.

¹³ Toda la sección se basa en: Salaverría, (2005).

Los elevados impuestos de los combustibles en Europa constituyen normalmente el 50% o más del precio al detalle del combustible diesel. Sin embargo, la mayor parte de los gobiernos europeos creen que el destinar el cultivo de semillas oleicas para producir biodiesel tiene poca justificación económica y que solamente se provocarán un aumento en los presupuestos agrícolas.

A pesar de la existencia de una fuerte oposición política, en febrero de 1994 el Parlamento Europeo adoptó una exención tributaria del 90% para el biodiesel; la combinación de una legislación que apoya el uso de combustibles alternativos, el incentivo y subsidios a la producción de semillas oleaginosas, resultó en el establecimiento de precios competitivos para el biodiesel respecto al diesel; en diversos países europeos. Los incentivos tributarios adoptan la forma de tasaciones significativamente reducidas o de exención de impuestos normalmente aplicados al combustible diesel.

Desde 1995 la capacidad de producción de biodiesel en Europa Occidental ha sido de más de 1,1 millones de toneladas por año, mayormente producidas por el proceso de Transesterificación. Esto agrega al mercado más de 80,000 toneladas anuales del subproducto glicerina, generando un excedente en el mercado. Debido a esto, Alemania limita la producción de biodiesel a través de la Transesterificación debido a una cantidad excesiva de glicerina.

Un método de eliminación del exceso de glicerina es la incineración. Sin embargo se desperdicia un producto manufacturado, crea un riesgo ambiental y tiene como resultado costos adicionales. Alemania concentra sus investigaciones en la producción de biodiesel utilizando un método de compresión en frío de la semilla de colza para evitar el problema del exceso de glicerina.

En algunos países Europeos; muchas cooperativas comerciales producen biodiesel mediante el proceso de Transesterificación para su propio beneficio. Sin embargo, sigue siendo un problema que hacer con la glicerina obtenida (Salaverría, 2005).

Cuadro 4.1: Producción y capacidad instalada de biodiesel en Europa para el período 2004/ 2005.

Producción por país en 2004		Capacidad producción en 2005	
País	Toneladas x 10 ³	País	Toneladas x 10 ³
Alemania	1035	Alemania	2000
Francia	348	Italia	600
Italia	320	Francia	420
Austria	57	Reino Unido	250
España	13	Austria	140
Dinamarca	70	Polonia	100
Reino Unido	9	España	70
Suecia	1.4	Eslovaquia	70
República Checa	60	República Checa	63
Eslovaquia	15	Dinamarca	30
Lituania	5	Suecia	8
		Irlanda	2

Fuente: Salaverría, (2005).

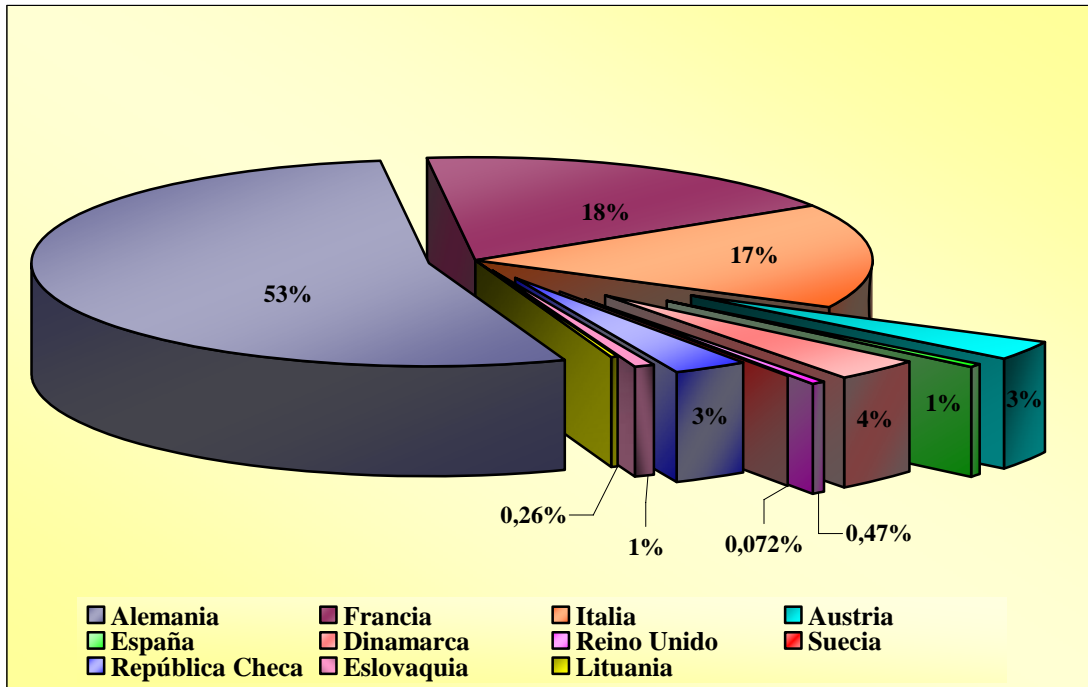


Figura 4-1: Proporciones de producción de biodiesel en Europa para el año 2004 (Salaverría, 2005).

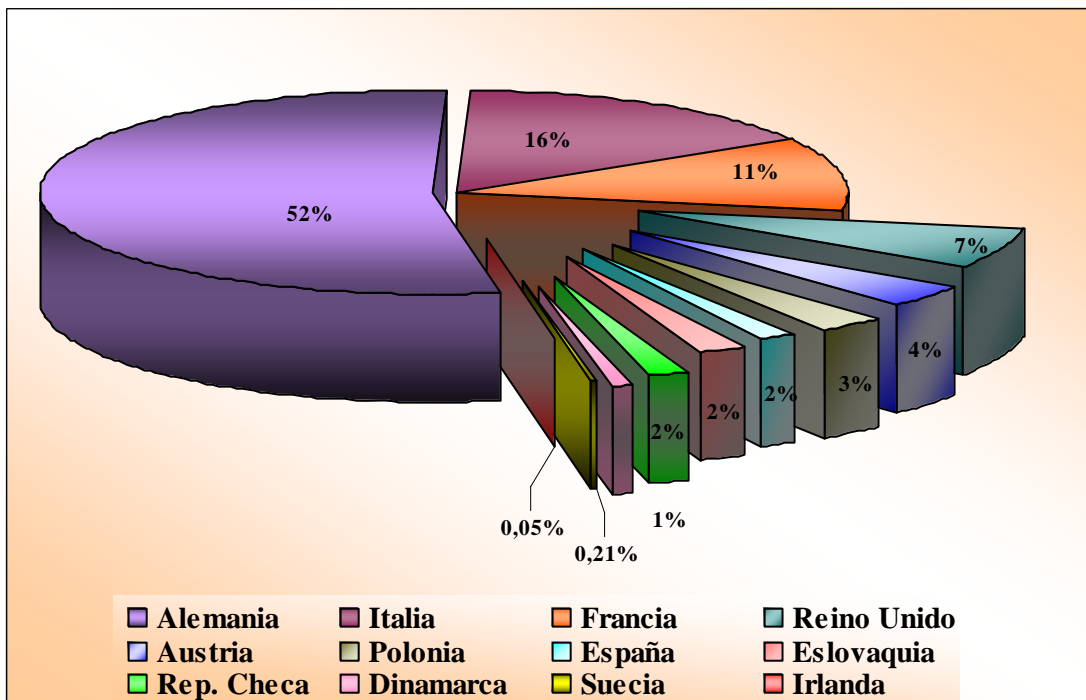


Figura 4-2: Porcentajes de capacidad instalada de producción de biodiesel en Europa para el año 2005, (Salaverría, 2005).

4.2 PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN AMERICA¹⁴

4.2.1 ESTADOS UNIDOS

El interés de Estados Unidos en el biodiesel se vio estimulado por la ley de Aire Limpio de 1990, junto con regulaciones que requerían un menor contenido de azufre en el combustible diesel y la reducción de emisiones provenientes de los automotores.

La Ley de Política Energética de 1992 estableció la meta de reemplazar el 10% de los combustibles para motores con biocombustibles para el año 2000 y aumentar a 30% para el año 2010. Ya en 1995 el 10% de todos los vehículos federales debían emplear biocombustibles, para mostrarse como ejemplo a las industrias de los combustibles y automotrices privadas.

Existe una fuerte oposición por parte de la industria petrolera a la promoción y al uso de los combustibles alternativos. No obstante, el uso del biodiesel está aumentando en Estados Unidos de América, especialmente en las flotas urbanas de autobuses.

Las pruebas exhaustivas realizadas en Estados Unidos se han concentrado en el biodiesel producto de la soya. Las pruebas realizadas a inicios del año 2000, indican que los costos de producción del biodiesel equivalen a 2.5 veces el costo de producción del diesel proveniente del petróleo (Salaverría, 2005).

4.2.2 CANADA

Canadá no está atrasado en el aspecto de aplicación de biocombustibles, ya que las investigaciones que se dieron a finales de la década de 1980 y la decisión de disminuir las emisiones gaseosas de los automóviles, impulsaron la aplicación de biodiesel como

¹⁴ Toda la sección está basado en: Salaverría, (2005)

combustible alternativo en mezcla con diesel fósil; el insumo principal que utilizan para la elaboración de biodiesel es la Colza (Salaverría, 2005).

A inicios de la década de 1990, la producción de colza presentó un alza, debido al aumento de los precios de los cereales en el mercado, costos de manejo y transporte de grano. Alcanzando su punto más alto en 1994 y 1995 debido a la producción de base territorial apta y requisitos de rotación del cultivo. En esa época se disponía de nuevas variedades de Colza (*Brassica juncea*), en combinación con un mejor control químico de malezas que daban expectativas de aumentar la producción en un mediano plazo.

La producción de biodiesel en Canadá requería el desplazamiento de productos alimentarios de mayor precio. Sin embargo, la posibilidad de emplear aceites de colza de menor calidad, ya sea por recalentamiento de las semillas o daños por congelamiento, sin efectos negativos para la calidad del biodiesel.

La tecnología canadiense en materia de biodiesel se ha concentrado en el método de tratamiento hidrológico utilizando un proceso de refinamiento convencional similar al de la industria del petróleo. Este método produce cetano (utilizado como refuerzo del combustible diesel), nafta (utilizada como un suplemento de la gasolina) y otros productos (utilizables como combustibles para asadores). Cuando se mezcla la porción de alto contenido de cetano (súpercetano) en un porcentaje de 5 a 10% por volumen con diesel, mejora el rendimiento del motor en el diesel igual que el octano lo hace en la gasolina (Salaverría, 2005).

4.2.3 SUR AMERICA

Después que los europeos iniciaron sus investigaciones con excelentes resultados, los países suramericanos decidieron entrar de lleno en materia de investigación; actualmente los países Suramericanos que están más desarrollados tecnológicamente con los Biocombustibles son: Argentina, Brasil, Uruguay, Ecuador y Colombia.

Actualmente estos países solamente producen Biocombustible para fines comerciales y de exportación, para utilizarlo en proporción con el diesel, se encuentran proyectos de ley para lograr suplir el 20% de la demanda de combustible diesel en mezcla con biodiesel (Eco2site, 2004).

4.2.4 CENTRO AMERICA

Nicaragua es uno de los países pioneros en Centroamérica en realizar las investigaciones de biodiesel a partir de la semilla del tempate, y este proyecto aún se encuentra en etapa de desarrollo, debido a que requieren más tiempo para obtener resultados favorables conforme a su economía (UNI, 1997).

En el Caribe, el tema de biocombustibles se encuentra en fase de investigación y desarrollo, sin embargo el interés por los combustibles alternativos y la creciente alza de precios de combustibles derivados del petróleo, provoca que esta etapa avance a pasos agigantados (Plasencia, 2005).

En El Salvador a inicios del año 2006 arrancó el funcionamiento de la planta piloto productora de biodiesel a partir de higuierillo, localizada en San Miguel. Esta planta posee una capacidad aproximada de 3000 litros/ mes, por otra parte se está llevando a cabo una etapa de investigación de cultivo de tempate para producción de biodiesel, apoyada por la empresa petrolera inglesa D1OIL y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Notimex, 2006).

En abril de 2007 en El Salvador se inauguró la primera planta industrial de biodiesel, con una capacidad máxima de 25,000 GAL/día de biodiesel de aceite de palma africana, localizada en Ciudad Arce en el departamento de La Libertad (laprensagráfica.com, 2007).

5. PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL BIODIESEL ¹⁵

5.1 VENTAJAS

Las ventajas y desventajas al emplear biodiesel (puro o en mezcla) y que manifiestan algunos países que hacen uso de este biocombustible se resumen a continuación:

1. Los esteres metílicos de los ácidos grasos constituyen una importante base para la preparación de (Larosa, 2001):
 - a. Alcoholes grasos (materias primas para la preparación de detergentes aniónicos, emulsionantes, plastificantes, retardantes en la evaporación del agua en cosméticos).
 - b. Esteres de ácidos grasos que no es posible obtener por esterificación directa, Representando por lo tanto un producto muy valioso para producir derivados óleo-químicos.
2. Funciona en cualquier motor diesel convencional sin ser necesaria una mayor modificación al motor. Puede ser almacenado en cualquier lugar inclusive el mismo lugar donde se almacena el diesel de petróleo.
3. El biodiesel puede ser usado puro o en mezcla y en cualquier proporción con el combustible diesel de petróleo. La mezcla más común y la más utilizada en Europa es una mezcla máxima de 20% de biodiesel con 80% diesel de petróleo, denominado "B20."
4. Al utilizar biodiesel como combustible se reduce las emisiones de anhídrido carbónico en valor aproximado al 80%, y cercano al 100% las de dióxido de azufre. La combustión de Biodiesel disminuye en 90% la cantidad de

¹⁵ Todo el apartado está basado en: Solvia, (2004).

hidrocarburos totales no quemados, y entre 75-90% en los hidrocarburos aromáticos. Además proporciona una reducción significativa en la emisión de partículas y de monóxido de carbono, en comparación del diesel de petróleo (ver figuras 5-1 y 5-2); también puede obtenerse un ligero decremento en óxidos de nitrógeno que depende del tipo motor y de la mezcla (ver Cuadro 5.1). Distintos estudios en EE.UU., han demostrado que el biodiesel reduce en 90% los riesgos de contraer cáncer.

5. Contiene una proporción del 11% de oxígeno en peso y el contenido de azufre es insignificante. Al usar biodiesel puede ser extendida la vida útil de los motores porque posee mejores cualidades lubricantes en comparación con el combustible diesel fósil, mientras el consumo, encendido, rendimiento y torque del motor se mantienen prácticamente en sus valores normales.
6. El manejo y transporte es seguro, porque su volatilidad es mínima y por lo tanto, no reacciona con la más mínima chispa accidental. Es totalmente biodegradable como el azúcar y es 10 veces menos tóxico que la sal de mesa; tiene un flash-Point de aproximadamente 150° C significativamente mayor con respecto al diesel fósil que es de 50°C.
7. Puede hacerse a partir de cultivos oleaginosos, como la soya; también pueden aprovecharse residuos tales como las grasas y los aceites usados.
8. Es un combustible que ya ha sido probado satisfactoriamente en más de 15 millones de Km. en EE.UU. y por mas de 20 años en Europa.
9. Los olores de la combustión en los motores diesel por parte del diesel fósil, son reemplazados por el aroma de las palomitas de maíz o papas fritas del biodiesel.

10. La Oficina de Presupuesto del Congreso, y el Departamento Americano de Agricultura, junto con otros organismos han determinado que el biodiesel es la opción más económica de combustible alternativo que reúne todos los requisitos de la Energy Policy Act.

5.2 DESVENTAJAS¹⁶

1. Factibilidad económica

- a. Alta dependencia en el costo de las materias primas.
- b. Generación de un Co-producto (glicerina), cuya purificación a grado técnico solo es viable para grandes producciones.

2. Aspectos técnicos:

- a. Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C).
- b. Escasa estabilidad oxidativa (vida útil/ período máximo de almacenamiento inferior a seis meses).
- c. Poder solvente: Incompatible con una serie de plásticos y derivados del caucho natural (**se necesita una eventual sustitución de algunos componentes del motor: mangueras, juntas, sellos, diafragmas, partes de filtros y similares**).

Cuando se lo carga en tanques sucios por depósitos provenientes del gasoil, al “limpiar” dichos depósitos por disolución parcial, puede terminar obstruyendo las líneas de combustible.

Al realizar una mezcla superior a 20% se hace necesario realizar una ínfima modificación al motor y 100% de la mezcla aumenta en un 16% el consumo de combustible.

¹⁶ Basado en: López, (2005)

5.3 EMISIONES DEL BIODIESEL Y SUS MEZCLAS.

Según fue explicado en el numeral 4 del apartado 5.1, es notable el decremento en las emisiones gaseosas más contaminantes, a excepción de los compuestos nitrogenados; sin embargo las pruebas de toxicidad realizadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA: Environmental Protection Agency), determinan que el riesgo de adquirir cáncer se ven disminuidas, aparte que es un compuesto fácilmente biodegradable (Alfindustries, 2005).

El cuadro 5.1 y la figura 5-1 y 5-2, describen en forma detallada la magnitud de las emisiones del combustible biodiesel y sus mezclas.

Cuadro 5.1: Emisiones de combustión del biodiesel respecto al diesel fósil.

Tipo de emisión	B20 (20% de mezcla)	B100 (Biodiesel puro)
Hidrocarburos totales sin quemar (HC)	-30	-93
Monóxido de Carbono (CO)	-22	-30
Partículas en suspensión.	-22	-30
Sulfatos	-20	-100
Hidrocarburos Aromáticos Poli-cíclicos (PAH)	-13	-80
Hidrocarburos Aromáticos Poli-cíclicos Nitrogenados (nPAH)	-50	-90
Potencial de destrucción de la capa de ozono.	-10	-50
NOx	2	13

Fuente: Stratta, (2000)

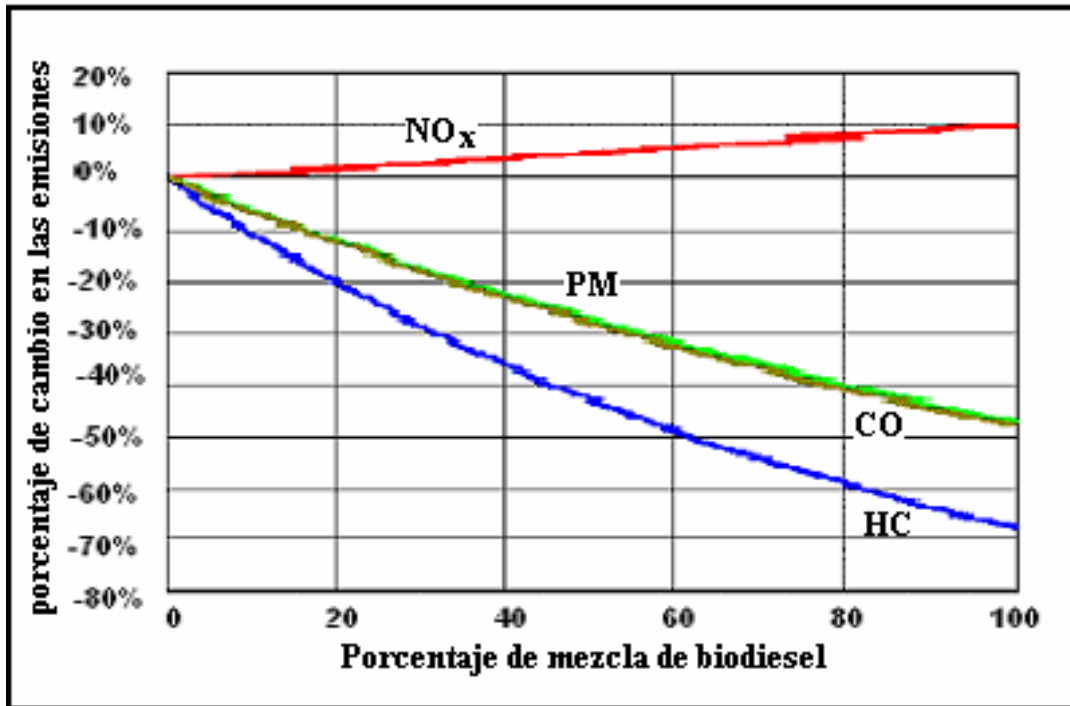


Figura 5-1: Emisiones de diferentes mezclas de biodiesel (Charpentier, Cruz y Loria, 2006).

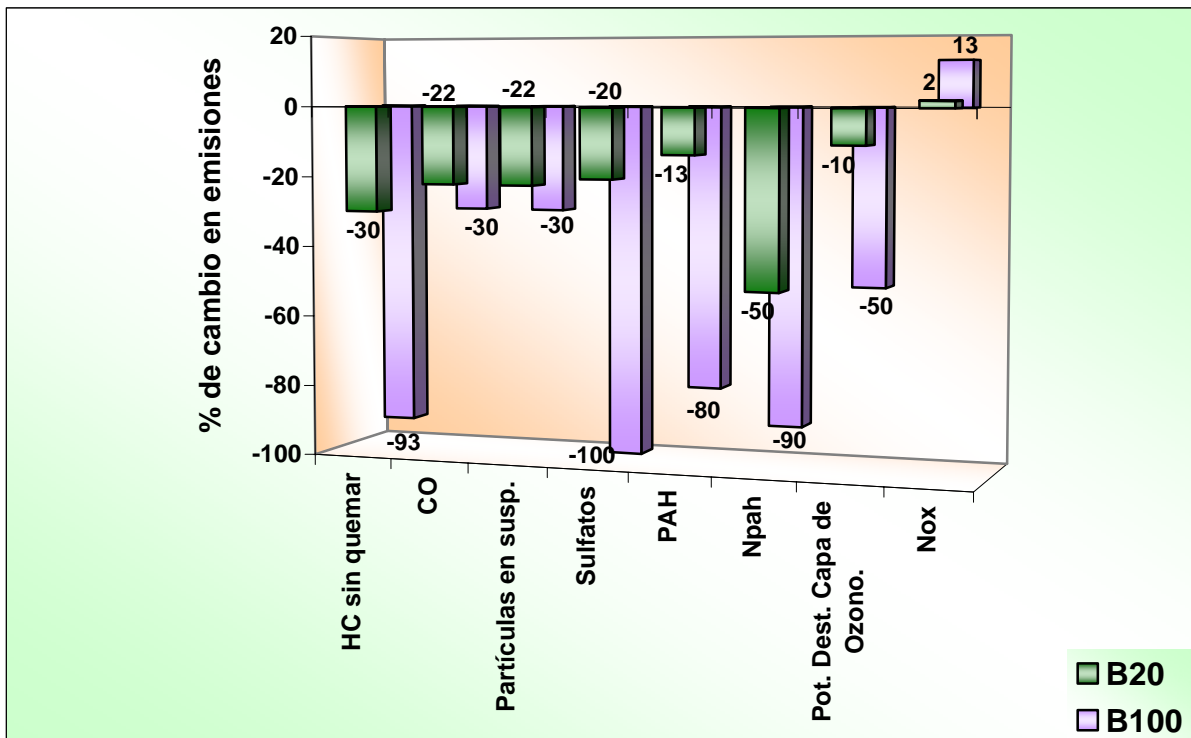


Figura 5-2: Representación esquemática de cambios en las emisiones B100 y B20. (Stratta, 2000).

6. LEGISLACION Y ESTANDARIZACION DEL BIODIESEL.

6.1 LEGISLACIÓN DEL BIODIESEL

Desde que empezó el análisis de la problemática ambiental y el aumento inminente de la población que pronto exigiría una mayor demanda energética, los países Europeos que hoy conforman la Unión Europea (UE) en la década de 1990 tomaron la decisión de producir combustibles provenientes de biomasa y crear una comisión específicamente para los biocombustibles, comprometiéndose así, al uso de los combustibles renovables (UNI, 1997).

En el período 2000-2006, los biocombustibles han aumentado su producción, y existe un convenio reglamentario de cumplimiento de cuotas fijadas para su consumo. Sin embargo, existe cierta problemática en alcanzar estas metas, debido a la oposición de algunas naciones de la UE, exigiendo que se realice un ajuste de estas cifras (CE, 2006).

Los principales países que consumen biocombustibles de acuerdo a la Comisión Europea son: Suecia con un porcentaje de sustitución de 2.28% y Alemania con 1.72%; la directiva de biocombustibles adoptada en mayo de 2003, posee como objetivo el uso de combustibles de biomasa en el transporte colectivo, por lo cual, en el año 2006 se encontraban realizando un anteproyecto coordinado por la Dirección de Energía y Transporte. Para alcanzar dicho fin, requirieron del apoyo de organizaciones no gubernamentales, autoridades públicas y otras partes interesadas (CE, 2006).

La fracción fijada para el 2010 en el uso de biocombustibles es del 5.75% no obstante, existen dudas acerca de alcanzar esta meta, debido a que algunos países tendrían que utilizar las extensiones de tierra que no están establecidas para cultivo, perjudicando en cierta forma aquellas regiones que por ahora tienen un alto valor ambiental (CE, 2006).

En la década de 1990, la Unión Europea formuló un anteproyecto de ley que consistía en mezclar al diesel fósil hasta un 5% de biodiesel de manera obligatoria este reglamento entró en vigencia en Enero del año 2000, así mismo algunos países como Alemania, Francia y Suecia han realizado tasas de exención de impuestos al uso y distribución de biocombustibles como una manera de fomentar el consumo masivo (UNI, 1997).

En América, por el momento no existen muchos países que apliquen reglamentos en el uso de biocombustibles, debido a que se encuentran en etapa de desarrollo, sin embargo, los países que ya poseen proyectos de ley son: Argentina, Brasil, Uruguay, Canadá, Estados Unidos, Colombia y Paraguay.

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental, señaló que el biodiesel cumple con las directivas de esta agencia, creándose una legislación obligatoria de agregar un 5% de biodiesel en el diesel fósil (Eco2site, 2004).

En Argentina el desarrollo de un mercado de biocombustibles presenta ventajas que hacen que el gobierno esté impulsando proyectos de producción en diferentes regiones del país; existe un Proyecto de Ley en el Senado de esa nación, presentado el 6 de julio de 2004 destinado a promover el desarrollo de energías alternativas limpias y ayudar de manera significativa al desarrollo sustentable de los biocombustibles a través de incentivos fiscales a la producción y comercialización (Eco2site, 2004).

En Uruguay existe un reglamento que aprueba la producción y comercialización de biodiesel, junto a su decreto reglamentario fijado en octubre de 2002, estableciendo un marco favorable para los productores de este combustible (INIAU, 2003).

En El Salvador el uso de Biocombustibles está en sus inicios, sin embargo el gobierno prepara un anteproyecto de ley cuyo objetivo sería regular e incentivar la producción de combustibles alternativos (Marroquín, 2005).

Para que la legislación funcione, debe crearse una serie de incentivos para impulsar el uso de los Biocombustibles. Entre los que se proponen son: la creación de créditos blandos, reducción de algunos impuestos y otros estímulos comerciales que vuelvan atractivo este tipo de generación de combustibles.

6.2 MARCOS LEGALES DE REFERENCIA.¹⁷

6.2.1 MARCO LEGAL EN LA UNION EUROPEA (UE).

Entre los documentos existentes en la Unión Europea se tienen los siguientes:

- ♦ Libro Blanco de las Energía Renovables (1997). Establece una estrategia y un plan de acción comunitarios para el tema de las energías renovables.
- ♦ Libro Verde de Suministro Energético (2001).
- ♦ Directivas sobre biocarburantes (2001).
- ♦ Carburantes “bio” 5% (2005), 7% (2009) sobre el consumo total del sector.
- ♦ Marco estable para concesiones de exención fiscal
- ♦ Propuesta de normativa reguladora del Biocombustible (2003).
- ♦ Libro Blanco de la UE, La política Europea del Transporte de cara al 2010: *la hora de la verdad* (2001).

¹⁷ Todo el apartado está basado en: Eco2site, (2004).

- ♦ UE: Directiva 2003/30 de biocarburantes y combustibles renovables en el transporte (L 123/ 42 Diario Oficial de la Unión Europea 17.5.2003).
- ♦ UE: Política AGROENERGÉTICA: Próxima reforma de la PAC: “créditos carbono” = 45 €/Ha. SMG 1,5 Millones de hectáreas en la UE.

6.2.2 MARCO LEGAL DE ARGENTINA

- ♦ Indicadores de Calidad Normas del Instituto Argentino de Normalización (IRAM) – 10 de diciembre de 2001. Establecimiento de los requisitos y métodos de ensayo para el biodiesel, comercialización y suministro en Argentina.
- ♦ Definición y especificaciones del Biodiesel Resolución N° 129/2001. Secretaría de Energía y Minería.
- ♦ La creación de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental, el Programa Nacional de Biocombustibles - Resolución 1076/01, creación del "Programa Nacional de Biocombustibles".

6.2.3 MARCO LEGAL URUGUAY

- ♦ El Uruguay se crea la Ley No.17.567 del 20 de octubre de 2002 y su decreto reglamentario. El cual incentiva el uso y producción de biodiesel (INIAU, 2003).

6.2.4 MARCO LEGAL ESTADOS UNIDOS

- ♦ Inclusión dentro de los requisitos del Clean Air Act Section 211(b). y de la Agencia de protección Ambiental (Larosa, 2001).

6.3 NORMALIZACION DEL BIODIESEL

Con el aumento en la producción de biodiesel y la aplicación de nuevas tecnologías, surge la necesidad de crear estándares de calidad para garantizar que su producción sea de alto valor cualitativo, asegurando que el biodiesel producido se encuentre dentro de un rango aceptable por parte de las instituciones y las personas que lo consumen (Solvía, 2004).

Existen diferentes instituciones a nivel mundial las cuales establecen sus propias normas de estandarización, las más conocidas y citadas por los documentos que se refieren a Biodiesel están: la ASTM - 6751, EN - 14214, IRAM – 6515 mostradas en los cuadros 6.1, 6.2 y 6.3.

Las propiedades más importantes que tienen en común cada una de ellas se describen a continuación¹⁸:

1. Flash Point

Establece los niveles de alcohol que no ha reaccionado y que se encuentra remanente en el combustible, también determina los requerimientos de seguridad, almacenamiento y transporte.

2. Viscosidad

En algunos motores, puede llegar a ser ventajoso especificar un mínimo de viscosidad debido a la pérdida de potencia por parte de la bomba inyectora y pérdidas de combustible en el inyector. Un límite admisible máximo, por otro lado, es necesario por cuestiones de diseño, tamaño de los motores, y las características propias del sistema de inyección. Este límite es mayor con respecto al diesel fósil, por lo que las mezclas de este último con Biodiesel, reducen la viscosidad del mismo.

¹⁸ Basado en: Solvia, (2004) y ASTM, (2003).

3. Cenizas Sulfatadas

La formación de cenizas puede estar presente en tres formas distintas:

- a. Sólidos abrasivos,
- b. Jabones metálicos solubles y
- c. Catalizador remanente.

Los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro en el inyector, la bomba inyectora, pistones y aros, también puede producir la formación de depósitos en el motor.

4. Sulfuros

El efecto que puede ocasionar la presencia de sulfuros puede variar considerablemente dependiendo en gran medida de las condiciones de operación. Afecta principalmente al funcionamiento y operación de los sistemas de control de emisiones.

5. Corrosión al Cobre

Determina la presencia de ácidos o contenido de sulfuros que pueden provocar corrosión en el motor.

6. Número de Cetano

El número de Cetano es una medida de la calidad de ignición del combustible y la presencia de humos negros y rudeza de marcha. Los requerimientos del número de Cetano dependen del diseño, tamaño, variación de carga y velocidad y las condiciones atmosféricas.

7. Punto de enturbiamiento (Cloud Point)

Define la temperatura a la cual comienzan a formarse pequeños cristales dentro del combustible. Es importante ya que define el comportamiento del combustible en condiciones climáticas a baja temperatura.

8. Residuo Carbonoso

Da una medida de la tendencia del combustible a formar depósitos de carbono. Mientras no esté directamente relacionado con los depósitos en el motor, esta propiedad puede aproximarse.

9. Número ácido

Determina el nivel de ácidos grasos libres presentes en el combustible. La presencia de los mismos puede incrementar los depósitos y la corrosión.

10. Glicerina libre

Determina la cantidad de glicerina libre dentro del combustible. Un alto contenido de la misma puede bloquear los inyectores y obstruir los conductos de combustible.

11. Glicerina Total

Determina el total de glicerina en el combustible, tanto libre como no libre. Un bajo nivel de la misma asegura que hubo una alta conversión de aceites o grasas en ésteres monoalquílicos. Un alto contenido de mono-, di- y triglicéridos puede bloquear los inyectores y afectar la operación y funcionamiento del motor en climas fríos.

Es importante señalar que cada país productor de biodiesel, posee sus propias normas, de acuerdo a las necesidades establecidas de cada uno de ellos. Por el momento, El Salvador no posee su propia norma, sin embargo podrían utilizarse las normas citadas en esta sección, y comparar si la producción nacional de biodiesel se encuentra dentro de las especificaciones de calidad.

Cuadro 6.1: Norma Argentina de Biodiesel IRAM- 6515

Propiedad	Límites	Unidades	Método ASTM (o IRAM según el caso)
Punto de inflamación	100.0 min.	° C	ASTM D93
Agua y sedimentos	0.050 máx.	% en peso	ASTM D1796
Viscosidad cinemática a 40 °C	3,5 - 5	centistokes	IRAM – IAP A 6597
Azufre	0.01 máx.	% en peso	ASTM D4294 o IRAM - IAP A 6539 o A 6516
Número de Cetano	46 min.	-	ASTM D613/ 96
Densidad	0,875 - 0,900	relativa	ASTM D1298
Alcalinidad	0.50 max	mg KOH/g	ASTM D664
Glicerina libre	0.020 máx.	% en peso	ASTM 6584 – 00 o NFT 60–704
Glicerina total	0.24 máx.	% en peso	ASTM 6584 – 00 o NFT 60 -704

Fuente: López, (2005).

Cuadro 6.2: Norma Estadounidense del Biodiesel ASTM- 6751

Propiedad	Limites	Unidades	Método de Prueba
Flash Point (closed cup)	130.0 min.	°C	D 93
Agua y sedimentos	0.05max.	%volumen	D 2709
Viscosidad cinemática 40°C	1.9 – 6.0	mm ² / s	D 445
Cenizas sulfatadas	0.020 máx.	%masa	D 874
Azufre	0.05 máx.	%masa	D 5453
Corrosión Cu	Nº 3 máx.	-	D 130
Número de Cetano	47 min	-	D 613
Cloud Point	Report	°C	D 2500
Residuo de Carbón	0.05 máx.	%masa	D 4530
Número Ácido	0.80 máx.	mg KOH/g	D 664
Glicerina Libre	0.020	%masa	D 6584
Glicerina Total	0.0240	%masa	D 6584
Contenido de Fósforo	0.001 máx.	%masa	D 4951
Temperatura de Destilación Temperatura Equivalente atmosférica 90% recuperado.	360 max	°C	D 1160

Fuente: ASTM, (2003).

Cuadro 6.3: Norma Europea del Biodiesel EN-14214.

Propiedad	Unidades	Límites		Método
		Mínimo	Máximo	
Contenido en Ester	% (m/ m)	96,5		EN14103
Densidad a 15 ° C	Kg./ m 3	860	900	EN ISO 3675
Viscosidad a 40 ° C	Mm ² /s	3,5	5,0	EN ISO 3104
Flash Point	° C	120	-	prEN ISO 3679
Azufre	mg/ Kg.	-	10,0	prEN ISO 20846
Residuo Carbonoso	% (m/ m)	-	0,30	EN ISO 10370
Número Cetano	-	51,0		EN ISO 10370
Cenizas sulfatadas	% (m/ m)	-	0,02	ISO 3987
Agua	mg/ Kg.	-	500	EN ISO 12937
Contaminación Total	mg/ Kg.	-	24	EN 12662
Corrosión Cu (3 hr./ 50 ° C)	Clase 1			EN ISO 2160
Estabilidad a la Oxidación, 110 ° C	Hr.	6,0	-	EN 14112
Acidez	mg KOH/ g	-	0,50	EN 14104
Índice de Yodo	gr. yodo/ 100 gr.	-	140	EN 14111
Ester metílico del ácido linolénico	% (m/ m)	-	12,0	EN 14103
Esteres metílicos poliinsaturados (>= 4 dobles)	% (m/ m)	-	1	-
Metanol	% (m/ m)	-	0,20	EN 14110
Monoglicéridos	% (m/ m)	-	0,80	EN 14105
Diglicéridos	% (m/ m)	-	0,20	EN 14105
Triglicéridos	% (m/ m)	-	0,20	EN 14105
Glicerol libre	% (m/ m)	-	0,02	EN 14105
Glicerol total	% (m/ m)	-	0,25	EN 14105
Metales grupo I	mg/ Kg.	-	5,0	EN 14108
Metales grupo II	mg/ Kg.	-	5,0	pr EN 14538
Fósforo	mg/ Kg.	-	10,0	EN 14107

Fuente: Biodiesel – Uruguay, (2006).

7. ACEITES Y GRASAS

7.1 DEFINICIÓN

Los aceites y grasas se encuentran dentro del grupo de los lípidos, a su vez estos lípidos se clasifican químicamente de acuerdo a su estructura.

Los lípidos constan de un amplio grupo de compuestos generalmente solubles en solventes orgánicos como por ejemplo éter, cloroformo, alcohol a una mayor temperatura, éter de petróleo, entre otros (Laguna, 1979). Los lípidos se encuentran en mayor proporción en los tejidos adiposos y junto con las proteínas y los carbohidratos constituyen los principales componentes de las células vivas (Rico Peña, 2003).

7.1.1 Definición más aceptada de los lípidos:

“Los lípidos son moléculas sintetizadas por sistemas biológicos, los cuales tienen como parte de su estructura largas cadenas de hidrocarburos que pueden ser o no ramificadas, podrían formar estructuras cíclicas y contener enlaces no saturados”. Este tipo de estructura le confiere a los lípidos la propiedad física de ser grasosos u oleaginosos (Rico Peña, 2003).

Los lípidos son muy importantes; cerca de la mitad de las grasas y aceites producidos en el mundo, se emplean en diversas industrias como la de jabones, pintura y barniz, tinta de imprenta, entre otros. El resto sirve como alimento (Laguna, 1979) ya sea como grasa obtenida a partir de su fuente animal o vegetal; por ejemplo la mantequilla, la manteca, aceites de cocina y de aderezo o puede ingerirse como constituyente en los alimentos como la leche, la carne, el huevo, etc. Las principales fuentes de aceite vegetal son: las semillas de algodón, del girasol, del frijol de soya, cacahuets, fruto de palma, cocoteros y la oliva (Rico Peña, 2003).

Los lípidos integrados a los alimentos muestran propiedades físicas y químicas únicas; que son muy importantes en sus características estructurales, puesto que definen su estructura cristalina, comportamiento de fusión y solidificación, asociación al agua y otras moléculas distintas a los lípidos. Estos lípidos reaccionan con otros compuestos para formar numerosas sustancias responsables tanto de una buena calidad como del deterioro de los alimentos (Rico Peña, 2003).

7.2 CLASIFICACIÓN¹⁹

Como se mencionó en el apartado 7.1 los lípidos pueden estar enlazados con distintos compuestos, para formar estructuras distintas, confiriéndole ciertas propiedades tanto fisicoquímicas como estructurales y nutricionales; lo que establece la siguiente clasificación:

1. Lípidos Simples. (Ésteres de ácidos grasos con diversos alcoholes)

- a. **Grasas y aceites.** Esteres de glicerol con ácidos monocarboxílicos
- b. **Ceras.** Ésteres de alcoholes monohidroxilados y ácidos grasos

2. Lípidos Compuestos. Contienen otras sustancias además del alcohol y los ácidos grasos.

- a. **Fosfolípidos.** Ésteres que contienen ácido fosfórico en lugar de un ácido graso, combinado también con una base de nitrógeno.
- b. **Glucolípidos.** (contienen N pero no P) Compuestos de carbohidratos, ácidos grasos y esfingocinol, llamados también cerebrosidos.
- c. **Lipoproteínas.** Compuestos de lípidos y proteínas.

¹⁹ Fuente principal: Laguna, (1979).

3. Compuestos Derivados. (Obtenidos por hidrólisis de los grupos anteriores)

a. Ácidos Grasos

b. Glicerol.

4. Sustancias asociadas a los lípidos

a. Serie del terpeno: carotenos, vitamina A

b. Serie de las naftoquinonas: (vitaminas K) y tocoferoles (vitaminas E)

c. Series esteroide: esteroides, ácidos biliares, hormonas corticales y sexuales.

Los diferentes ácidos grasos que intervienen en la composición de los glicéridos son los que confieren las características particulares de cada aceite y también determinan su comportamiento como nutriente (Wanadoo, 1998).

Al predominar los ácidos grasos saturados, estas se mantienen sólidos o semisólidos a temperatura ordinaria (20 °C), constituyendo las grasas (predominantemente de origen animal y en algún caso de origen vegetal). Mientras que si predominan los ácidos grasos no saturados estos son líquidos a dicha temperatura, denominándose como aceites fijos (Wanadoo, 1998).

En contraposición existen los aceites volátiles o esenciales que se extraen del grupo de las especies aromáticas. En el grupo de las Oleaginosas, comprenden sólo las especies con cierta proporción de aceite y que se utilizan para extraer aceites fijos (Wanadoo, 1998).

Ahora que se tiene una idea más clara de lo que son los lípidos y su clasificación; para efectos del proceso de producción de biodiesel, solamente se describirán aquellos lípidos que poseen prioridad, estos son los acilglicéridos, ácidos grasos y fosfolípidos.

7.2.1 ACILGLICÉRIDOS

La forma más común de lípidos recibe la denominación de grasas neutras; que constituyen: las grasas comunes como los aceites (líquidos a la temperatura ambiente) y las mantecas (sólidas a la temperatura ambiente); formando una mezcla heterogénea de diferentes triacilgliceroles (Laguna, 1979).

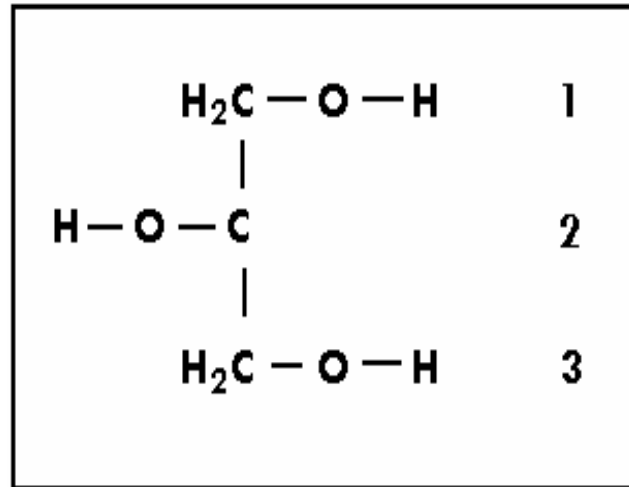


Figura 7-1: Estructura de un glicerol: 1,2 y 3 constituye las estructuras de esterificación en mono, di y tri glicérido con ácidos grasos (Rico Peña, 2003).

Los acilglicéridos son los ésteres resultantes de la esterificación del tri-alcohol glicerol con una, dos o tres moléculas de ácidos grasos, es decir mono, di y triglicéridos respectivamente (Laguna, 1979).

La estructura del glicerol se representa en la figura 7-1, esta es una representación de las proyecciones de Fisher planares, actualmente aceptadas por la IUPAC (Rico Peña, 2003).

Como se mencionó anteriormente un mono, di o tri glicérido surge cuando el glicerol es esterificado con cadenas de ácidos grasos.

7.2.2 ACIDOS GRASOS²⁰

Forman y caracterizan a los triglicéridos. Están formados por una cadena alifática con un número, en general par, de átomos de carbono (de 4 a 22) y un radical COOH, que les permite unirse a otros grupos.

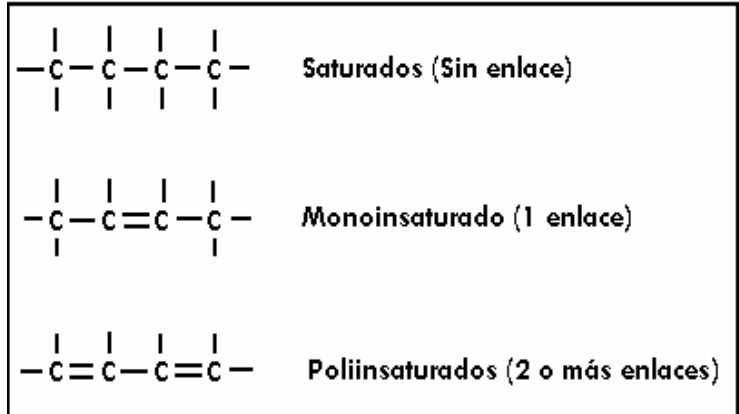


Figura 7-2: Tipos de ácidos grasos: Según el número de dobles enlaces (Eufic, 2005).

Según la longitud de su cadena pueden ser de cadena corta (4 a 6 átomos de carbono), de cadena media (de 8 a 10) o de cadena larga (de 12 o más). Esta longitud de cadena condiciona su punto de fusión. Un ejemplo de ácido graso es la representada por la siguiente cadena de carbonos:

ÁCIDO PALMÍTICO: contiene 16 carbonos saturados.



Los ácidos grasos pueden ser según sus dobles enlaces: SATURADOS (no poseen dobles enlaces) o INSATURADOS (poseen dobles enlaces). Los ácidos grasos saturados abundan en los lípidos de origen animal (terrestre) y los insaturados, son

²⁰ Basado en: Ganuza, (2000).

más abundantes en materiales vegetales como se muestra en el Cuadro 7.2 (Ganuza, 2000).

Los ácidos grasos insaturados se diferencian en MONOINSATURADOS, si sólo tienen un doble enlace, o POLIINSATURADOS (Fig. 7-2), con dos o más dobles enlaces (Cuadro 7.1). También, se debe tener en cuenta la posición CIS o TRANS de dichos enlaces (Fig. 7-3). La sustancia más común de estructura en posición cis, es el colesterol; y tras ser sometido a diferentes agentes físicos, como el calor, o a manipulaciones industriales, puede cambiar a la forma trans.

En el cuadro 7.3 se muestra más generalizado los alimentos que contienen ácidos grasos en diferentes estructuras (Ganuza, 2000).

Cuadro 7.1: Clasificación de los ácidos grasos más comunes.

Saturados		Monoinsaturados		Poliinsaturados	
Ácido butírico	C 4:0	Ácido Oleico	C 18:1n-9	Ácido Linoleico	C18:2 n-6
Ácido láurico	C12:0	Palmitoleico	C16:1 n-7	Ácido linolénico	C18:3 n-3
Ácido mirístico	C14:0	Elaidico	C18:1 n-9 (trans)	Ácido Araquidónico	C20: 4 n-6
Ácido palmítico	C16:0			Ácido Eicosapentaenoico	C20:5 n-3
Ácido esteárico	C18:0				

Fuente: Ganuza, (2000).

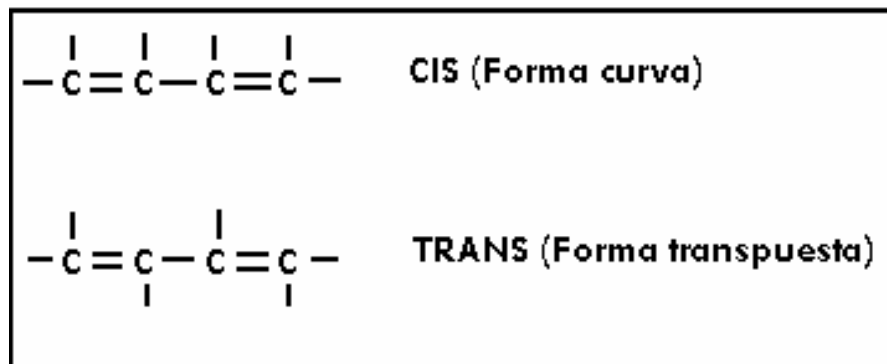


Figura 7-3: Tipos de ácidos grasos, según la estructura de sus isómeros (Eufic, 2005).

Cuadro 7.2: Proporción de los ácidos grasos saturados e insaturados en diferentes tipos de aceites y grasas alimenticias.

Aceite / grasa	Saturados	monoinsaturados	Poliinsaturado
Mantequilla	64	33	3
Margarina dura	38	49	13
Margarina blanda	33	44	23
Margarina (PUFAs)	20	17	63
Manteca de cerdo	45	45	10
Aceite de coco	91	7	2
Aceite de semilla de algodón	27	22	51
Aceite de maíz	17	31	52
Aceite de oliva	15	74	11
Aceite de palma	47	44	9
Aceite de cacahuete	20	50	30
Aceite de soya	15	25	60
Aceite de girasol	14	34	52

Fuente: Hernández, (2001)

7.2.3 FOSFOLÍPIDOS

La importancia de los fosfolípidos radica en la participación estructural de todas las membranas biológicas. Contienen el alcohol glicerol (excepto cuando el glicerol es sustituido por la esfingosina), ácido graso, ácido fosfórico y pueden o no poseer un amino alcohol o un azúcar.

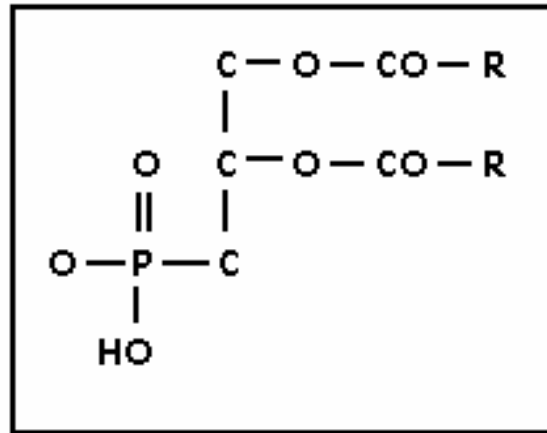


Figura 7-4: Estructura de un fosfolípido; R indica una radical alquílico de un ácido graso (Laguna, 1979).

Las uniones entre glicerol - ácidos grasos, glicerol - ácido fosfórico y entre el ácido fosfórico y el azúcar o el amino alcohol, son de tipo éster (Fig. 7-4). Por hidrólisis se rompen todas las funciones éster y se liberan las moléculas participantes (Laguna, 1979). Los fosfolípidos con glicerol se conocen como fosfoglicéridos y la diferencia entre los distintos grupos de fosfoglicéridos radica en el compuesto unido al ácido fosfórico.

El fosfoglicérido más sencillo es el que no contiene ninguna molécula unida al ácido fosfórico, o sea contiene glicerol, dos ácidos grasos y ácido fosfórico: es el ácido fosfatídico, sustancia clave en el metabolismo de los fosfolípidos y en los triacilglicéridos (Laguna, 1979).

Casi todos los fosfolípidos se derivan del ácido fosfatídico al cual se esterifican en el ácido fosfórico uno de los siguientes alcoholes: etanolamina, serina, colina, glicerol o inositol.

Cuadro 7.3: Fuentes de sustancias oleaginosas²¹

Nombre común	Símbolo (*)	Fuente dietética típica
Ácidos grasos saturados		
Butírico	C4:0	Crema de leche
Caprílico	C8:0	Aceite de palmiste
Cáprico	C10:0	Aceite de coco
Laúrico	C12:0	Aceite de coco
Mirístico	C14:0	Crema de leche, aceite de coco
Palmítico	C16:0	Mayoría de grasas y aceites
Esteárico	C18:0	Mayoría de grasas y aceites
Araquídico	C20:0	Manteca de cerdo, aceite de cacahuete
Ácidos grasos monoinsaturados		
Palmitoleic	C16:1 n-7	Mayoría de grasas y aceites
Oleic	C18:1 n-9	Mayoría de grasas y aceites
Elaidic	C18:1 n-9 (cis) C18:1 n-9 (trans)	Aceites vegetales hidrogenados, crema de leche, grasa de carne de vaca
Ácidos grasos poliinsaturados		
Linoleico	C18:2 n-6 (all cis)	Mayoría de los aceites vegetales
Alfa-linolénico	C18:3 n-3 (all cis)	Aceites de soja y canola
Dihomo-gamma-linolénico	C20:3 n-6	Aceites de pescado
Araquidónico	C20:4 n-6 (all cis)	Grasa de cerdo, grasa de aves
Eicosapentanoico	C20:5 n-3 (all cis)	Aceites de pescado
Docosahexanoico	C22:6 n-3 (all cis)	Aceites de pescado

(*) La cifra que aparece antes de los dos puntos indica el número de átomos de carbono que contiene la molécula del ácido graso y la cifra que aparece después indica el número total de dobles enlaces. La designación n-(omega) indica la localización del primer doble enlace a partir del metilo terminal de la molécula.

²¹ Fuente: Eufic, (2005).

7.3 USOS DE LOS ACEITES²²

Existen muchos aceites que tienen más de una función; por lo que se ha tomado en consideración tres áreas importantes en donde las grasas y los aceites tienen aplicación (Wanadoo, 1998):

1. **Industriales**
2. **Comestibles**
3. **Fines diversos**

1. **Industriales:** los aceites empleados en la industria generalmente se utilizan por poseer propiedad secante, dado que son aptos para producir capas protectoras, debido a la propiedad que tienen de secarse después de su aplicación como películas bien adheridas y resistentes. En este grupo el principal representante, es el aceite de lino.
2. **Comestibles:** Los aceites vegetales tienen gran importancia en la alimentación. Juegan un papel importante en la fijación del calcio, caroteno, tiamina, lactosa y con sus vitaminas A, D, y K, contribuyendo a proveer parcialmente a las necesidades de la alimentación humana. Entre las especies que proporcionan aceite comestible podemos citar: aceite de girasol, soja, maní, colza, algodón, cártamo, etc. Al considerar la calidad de los aceites comestibles deben medirse por los siguientes parámetros:
 - a. **Grado de estabilidad:** es la capacidad de mantener el sabor en el transcurso del tiempo, como también la resistencia a experimentar cambios frente a variaciones de temperaturas, altas o bajas.
 - b. **Características organolépticas:** sabor, olor color, etc., inciden en la calidad de los aceites, pero las preferencias están asociadas a factores subjetivos del consumidor.

²² Basado en: Wanadoo, (1998).

- c. **Nivel nutricional:** Los distintos ácidos grasos que componen el aceite le otorgan características diferenciales, existiendo una relación directa entre dicha composición y el comportamiento en cuanto a la salud humana, especialmente en los problemas cardiovasculares y tasa de colesterol.

Los aceites más indicados son los que contienen un alto porcentaje de ácidos grasos insaturados, particularmente el Linoleico.

- 3. **Fines diversos:** Son utilizados en la elaboración de cosméticos, jabones, detergentes y medicamentos. Los aceites más comunes son: coco, jojoba, palma, aguacate, etc. En este caso existe un alto grado de sustitución con las grasa de origen animal. (Wanadoo, 1998).

7.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS ACEITES Y GRASAS²³.

Para lograr una mayor eficiencia en el proceso de producción del biodiesel, a partir de aceites y grasas (animales o vegetales) ya sean nuevos o residuales; es importante destacar que en el proceso depende de las condiciones en las que se encuentra la materia prima. Para especificar el pre-tratamiento que debe aplicarse se hace necesario realizar una caracterización a los insumos oleicos, de lo contrario, las pérdidas económicas serían significativamente elevadas por un producto en mal estado.

Las propiedades que tienen mayor relevancia para la obtención de biodiesel se describen a continuación:

1. Contenido de humedad

Determina la concentración de agua presente en los aceites y grasas (vegetal y animal); en los aceites nuevos, esta cantidad puede ser mínima puesto que en el

²³ Este apartado esta basado en CEMITEC, (2006).

proceso productivo esta característica es constantemente vigilada, debido a la oxidación de los mismos.

En aceites y grasas residuales, el agua presente es de mayor concentración debido al uso, porque proviene de la humedad presente en los alimentos, y durante el proceso de cocción se liberan ácidos grasos libres provocando la formación de agua.

2. Contenido de impurezas

Puede describirse como el contenido de sólidos presentes en los aceites y grasas (animales y vegetales) ya sean nuevos o residuales; en los aceites y grasas nuevos esta concentración puede ser mínima y puede provenir de su material origen (restos de semillas, gomas, polvo), o del contenedor donde es almacenado ya sea por falta de limpieza o deterioro del mismo.

Provocando a la hora del proceso, una obstrucción en tuberías y bombas, hasta dañar los equipos, como consecuencia podría aumentar los costos de mantenimiento.

3. Material insaponificable.

Esta propiedad determina la fracción del aceite y grasa que no participa en la formación de jabones, ya que están compuestos principalmente de esteroides que no confieren ninguna propiedad a los aceites y que químicamente son inertes.

Al conocer esta propiedad, puede determinarse si este aceite o grasa es adulterado (puede contener parafina, u otro tipo de hidrocarburo), este valor no puede ser ni menor, ni mayor que 2%. Ya que la impureza puede afectar en la reacción de transesterificación.

4. Índice de acidez

Presencia natural de la acidez libre en las grasas, es decir la suma de los ácidos grasos no combinados, resultado de la hidrólisis o descomposición lipolítica de algunos triglicéridos. (Hidrólisis enzimático, tratamiento químico, o acción bacteriana.)

Se define como el número de miligramos de KOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de grasa.

La acidez de las sustancias grasas es muy variable. Generalmente las grasas frescas o recién preparadas no contienen ácidos grasos libres o si los contienen se encuentran en pequeñas cantidades, al vencer su vida útil, especialmente sino han estado protegidos de la acción del aire y la luz, la acidez crece lentamente al principio y con cierta rapidez después de un cierto tiempo.

La acidez tiene importancia tanto para aceites comestibles como para los lubricantes, porque ni unos ni otros pueden contener ácidos grasos libres más allá de un límite dado. Se considera como impureza en las grasas.

5. Índice de yodo

Medida de las insaturaciones presentes en los ácidos grasos que conforman un TRIGLICÉRIDO (dobles enlaces). Los ácidos grasos no saturados son líquidos a temperatura ambiente.

El índice de Yodo está relacionado con el punto de fusión o dureza y densidad del material graso. Y se define como los gramos de halógeno calculados en yodo que pueden fijar bajo ciertas condiciones 100 gramos de grasa.

El índice de Yodo es una propiedad química que está relacionada con: la insaturación, el índice de Refracción y la densidad: (a mayor índice de yodo, mayor índice de refracción y mayor densidad).

Los aceites comestibles contienen buena cantidad de ácidos grasos insaturados, dando índices de Yodo relativamente altos.

6. Estabilidad a la oxidación

Determina, el grado de durabilidad de un aceite o una grasa, a la descomposición provocada por la oxidación de estos materiales y por consecuente ayuda al aumento gradual de la concentración de ácidos grasos libres, provocando que los aceites y grasas adquieran un olor desagradable.

7. Contenido de fósforo.

El fósforo presente no interviene en la reacción de transesterificación, sin embargo, un alto contenido de fósforo puede causar daño considerable en los convertidores catalíticos que son usados en los sistemas de control de emisiones, lo que puede agravar el aumento de las emisiones descontroladas y a un gasto en reemplazo de este sistema (ASTM, 2003).

7.5 DISPONIBILIDAD DE OLEAGINOSAS EN EL SALVADOR

Para la elaboración de biodiesel es necesario que exista una disposición del mayor número de especies oleaginosas existentes y económicamente factibles, por lo que el Centro de Transformación Agraria (CENTA), realiza esfuerzos encaminados a la reactivación de esta actividad agraria, desafortunadamente, estas acciones quedan plasmados en papel ya que las tierras disponibles están ocupadas con otros cultivos tales como: los granos básico (frijol, arroz, sorgo), caña, cultivo de especies frutales y vegetales; siendo cultivos de mayor prioridad.

En el sector ganadero (vacuno, porcino y aves de corral), su actividad es baja, sin embargo las grasas desechadas pueden constituir un factor importante para poder aprovecharse en el proceso de Transesterificación.

En la industria de restaurantes y cafeterías el aceite usado que sale después de freír un producto alimenticio, también se convierte en un candidato ideal para considerarlo en el proceso de obtención del biodiesel.

En este apartado se describirán las especies oleaginosas identificadas que poseen mayor potencial; los materiales residuales en existencia para la producción de biodiesel se consideran en la sección 8.0. La manera en la cual se seleccionó a estas especies oleaginosas, es por su valor económico, rapidez de cosecha, y contenido de aceite. En los materiales residuales se seleccionaron por su contenido de grasa y cantidad disponible.

7.5.1 SOYA²⁴



La soya (*Glycine Max L.*), es una planta de tipo arbustivo, de tallos erguidos y ramificados, su longitud varía de 0.45 – 1.5 m., el tallo, las hojas y vainas suelen tener vellosidades ásperas. Florece en días cortos y su maduración depende del período de oscuridad diario (foto período).

Figura 7-5: Semillas de soya. (Pl. P, 2006)²⁵

Las hojas son alternas ovaladas y engrosadas en la base, son acanaladas en la parte superior de color verde oscuro. Las flores son de color morado o blanco, pequeñas y en número bastante elevado por sus inflorescencias racimosas. Las vainas son generalmente cortas, de tamaño y de color variable, según sea el tipo, con longitud menor a 10 cm. contienen de 2 a 5 granos.

²⁴ Fuente: CENTA, (1995).

²⁵ Pl. P: plant Picture.



La semilla es de tamaño relativamente pequeño, de superficie lisa, color amarillo crema o negro y en varias tonalidades de los colores mencionados, de forma casi ovalada. Si la semilla es vieja, puede aclararse todo el tegumento (CENTA, 1995).

Figura 7-6: Flor de la planta de soya, (Pl. P, 2006).



La soya, se le considera actualmente como la leguminosa más importante del mercado mundial. Se caracteriza como uno de los alimentos para consumo humano y animal, con mayor valor nutritivo por su alto contenido proteico (36%). Además constituye una fuente de materia prima para la industria por la diversidad de productos que de ella se obtienen, tales como: aceite (18%), harina y lecitina, etc.

Figura 7-7: Semillas y vainas del fruto de soya, (Pl.P, 2006).



En El Salvador se cultivó en los departamentos de Sonsonate, La Libertad, Ahuachapán, Santa Ana, San Salvador, Cabañas, San Miguel, Usulután, Morazán y La Unión (CENTA, 1995).

Figura 7-8: Hojas de la planta de soya (Pl. P, 2006).

7.5.2 MANÍ²⁶



Figura 7-9: Semillas de maní (Pl. P, 2006).

El cacahuete o maní (*Arachis Hypogea*), se cultiva ampliamente en muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo; representa el cuarto producto vegetal oleaginoso más importante de los que se comercializan después de la soya, la colza y el girasol.



Figura 7-10: Hojas y flores de la planta de maní (Pl. p, 2006).

La planta se caracteriza por formar, desarrollar y producir sus frutos (cápsulas) en el interior del suelo. La semilla o “nuez” es apreciada por su alto contenido de aceite (45%) y de proteína (30%). Su importancia radica en la diversidad de usos de la planta, tanto en la alimentación humana como animal.

En la alimentación humana, se lo consume ya sea en harina, aceite o la semilla directamente. Para la alimentación animal se utiliza como forraje, ensilaje, heno o en torta de cacahuete. En el salvador el cacahuete o maní fue cultivado por pequeños y medianos agricultores, en su mayoría en monocultivos y en pequeña escala en relevo después de la dobla del maíz.

²⁶ Fuente: CENTA, (1995).



Figura 7-11: Cubierta y distribución de las semillas de maní (Pl. P, 2006).

Tradicionalmente fue sembrado en zonas aledañas al Río Lempa y sus afluentes, también es reconocida el área de Garita Palmera en el departamento de Ahuachapán, Metalío en el departamento de Sonsonate y en zonas franco – arenosas de la zona costera del país, especialmente en los departamentos de La Paz (La Herradura) y La Libertad.

Los datos estadísticos de la Dirección de Economía Agropecuaria referente al cultivo del maní (producción y área de siembra), llegan hasta el período agrícola 1993-1994, por lo que el área cultivada en aquel tiempo fue de aproximadamente de 1435 manzanas. Aunque ya no existe como cultivo tradicional, el consumo se ha incrementado debido al aumento en la demanda, principalmente de las empresas procesadoras de alimento, siendo necesaria la importación de esta semilla.

Para presentar al maní como una alternativa de diversificación agrícola en El Salvador, se deben reunir las características de los suelos arenosos o franco-arenosos, disponibles y apropiadas para la explotación (CENTA, 1995).

7.5.3 AJONJOLÍ²⁷

El ajonjolí (*Sesamun indicum*), es cultivado en regiones de climas cálidos en zonas tropicales del mundo; en El Salvador, el ajonjolí ocupa uno de los primeros lugares dentro de los cultivos no tradicionales de exportación, generando divisas.

²⁷ Fuente: CENTA, (1995).

El pequeño agricultor es quién tradicionalmente lo ha cultivado, considerándolo como cultivo secundario; lo siembran en relevo después de la dobla del maíz, y generalmente



Figura 7-12: Semilla de ajonjolí (IICA, 2006)²⁸.

utilizan variedades conocidas como criollas. De acuerdo a datos estadísticos, a partir del año de 1984 se siembra en áreas relativamente extensas, mayores de 25 manzanas, en sistemas de monocultivo como cultivo principal y utilizando variedades mejoradas.

El Salvador tiene un área con potencial de siembra de ajonjolí de aproximadamente 50,000 manzanas.



Figura 7-13: Hojas y flor de la planta de ajonjolí, (IICA, 2006).

Se estima que la superficie cultivada ha variado de acuerdo con la demanda y el precio nacional e internacional. Según datos estadísticos, en el año de 1993 se cultivaron 24,200 manzanas, de las cuales se obtuvo 290,000 quintales de ajonjolí, cuya venta produjo un ingreso superior a 64.1 millones de colones.

El ajonjolí, se caracteriza por ser una planta anual, de tallo que varía de erecto a cilíndrico o cuadrangular y en algunos casos puede tener seis lados. Las flores aparecen solitarias o agrupadas en las axilas de las hojas y el fruto consta de una

²⁸ Nota: Imágenes bajadas de la página del IICA de El Salvador.

cápsula de dos a cinco centímetros de largo, formada generalmente de dos carpelos divididos en dos para formar cuatro celdas. La semilla es aplanada pequeña, blanca, gris, o negra en su exterior; mide de dos a cuatro milímetros de longitud y uno a dos milímetros de ancho.



Se utiliza en la elaboración de aceites comestibles, margarinas (es apreciado en los países que lo consumen por su sabor agradable y ser fácilmente digerible), como ingrediente en la industria farmacéutica, en la fabricación de jabones, cosméticos y en pinturas.

Después de la extracción del aceite, queda la parte residual (torta) útil para la alimentación del ganado y aves de corral. Contiene de 40-50% de proteínas. La semilla de ajonjolí se utiliza en la preparación de pan, galletas,

dulces y confitería (CENTA, 1995).

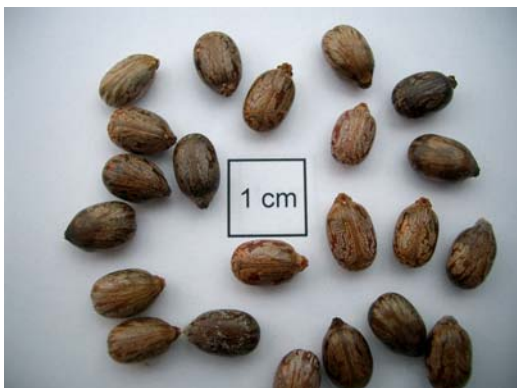
Figura 7-14: Vainas donde se encuentran distribuidas las semillas del ajonjolí (IICA, 2006).

7.5.4 HIGUERILLO²⁹

El higuerrillo (*Ricinus Communis L*), es una planta anual, bienal o perenne, según los tipos de especies. Al estado natural es un arbusto laticífero, de gran desarrollo radical. La producción de mayor aceite se obtiene de los granos de la planta que son cultivados en regiones muy cálidas, pero se asegura que la mejor calidad procede de las regiones templadas.

²⁹ Fuente: CENTA, (2001).

El Higuerrillo tiene importancia de uso por el contenido de aceite que contiene la semilla



empleándose principalmente en motores de reacción debido a la característica de no congelarse a bajas temperaturas. El cultivo del higuerrillo tuvo varios auge, especialmente en las dos últimas guerras mundiales. Actualmente y en el futuro su demanda aumentará por el alza de los precios de la energía en general.

Figura 7-15: Semillas del Higuerrillo (PI.P, 2006).



El rendimiento de las variedades comerciales varían entre 600–1800 Kg. /Ha sin embargo, con un manejo adecuado y bajo riesgo se puede sobrepasar el rendimiento de 4500 kilogramos por Hectárea.

El contenido de aceite de las variedades oscilan entre el 35-60% y en variedades de semilla pequeña y medianas el aceite es de mejor calidad.

Figura 7-16: Hojas y fruto de la planta de Higuerrillo (PI.P, 2006).

El rendimiento depende principalmente del número y longitud de las inflorescencias de las plantas, por lo que estas son características que se deben buscar al emplear germoplasmas sin identificación (CENTA, 2001).



Figura 7-17: Flor de la planta de Higuerrillo (PL.P, 2006).

El Higuerrillo se adapta a las mismas condiciones a las que se adapta el maíz y es también tolerante a un ambiente salino; también es fácilmente adaptable a elevaciones de 0-1000 metros sobre el nivel del mar.

En el salvador, esta planta no se cultiva de manera industrial, existiendo por el momento de forma silvestre, generalmente en lugares con alto contenido de fósforo y en lugares originados por cenizas volcánicas bien drenadas.

7.5.5 ALGODÓN³⁰

El algodón (*Gossypium sp.*), se cultiva en zonas donde la temperatura varía entre los 27-30°C, y con clima cálido y seco. El botón floral aparece entre los 30 y 32 días



después de sembrada la semilla. La formación de botones se incrementa paulatinamente de los 30-60 días, alcanzando su máximo a los 60 días, posteriormente comienza el proceso de decrecimiento, el cual surge aproximadamente cerca de los 100 días (CENTA, 2005).

Figura 7-18: Semillas de algodón, (Pl. P, 2006).

Cápsulas o Frutos

Fecundada la flor, se forman cápsulas que son más o menos gruesas, ovoides o alargadas de coloración verde, con manchas rojas; la forma y la dimensión varían según la especie, variedad y el medio ambiente. El fruto joven crece rápidamente y alcanza entre 20 y 25 días su tamaño definitivo, tardando más de 20 a 25 días para su maduración y apertura; la semilla está formada por el embrión y dos cotiledones que llenan totalmente el grano, el contenido de aceite oscila entre el 34 y el 36% del peso seco (CENTA, 2005).

³⁰ basado en: DGEA-MAG, (2005).



El algodón fue uno de los principales rubros tradicionales de exportación en El Salvador ocupando una posición estratégica en la economía salvadoreña. El período 1960-1964, se caracterizó por el auge que tomó la producción y su participación porcentual en el Producto Territorial Bruto (DGEA-MAG, 2005).

Figura 7-19: Flores y hojas de la planta de algodón (PI. P, 2006).

En los siguientes años el cultivo mostró diferentes fases, tanto en la superficie sembrada, como en la producción. Muchos factores contribuyeron en la fluctuación mostrada por el algodón, fuerzas sobre las cuales el país no tiene influencia, como los precios del mercado externo y otros aspectos relevantes o menos relevantes, que se señalaron en diferentes estudios (DGEA-MAG, 2005).

En el año de 1979, se tenía una superficie de siembra de 120,800 manzanas y se



obtuvo una producción de 4,046,800 quintales, a partir de ese año, tanto la superficie sembrada como la producción mostró una tendencia marcadamente decreciente. En el año de 1983, la superficie decreció un 55.96%, y entre los años 1995-1997 el cultivo desapareció (DGEA-MAG, 2005).

Figura 7-20: Fruto de la planta de algodón, (PI. P, 2006).

Los departamentos donde se cultiva algodón actualmente son: La Unión, San Miguel, Usulután, La Paz, San Vicente.

7.5.6 TEMPATE³¹

El Tempate o piñón (*Jatropha Curcas L*), es una planta oleaginosa, originaria del

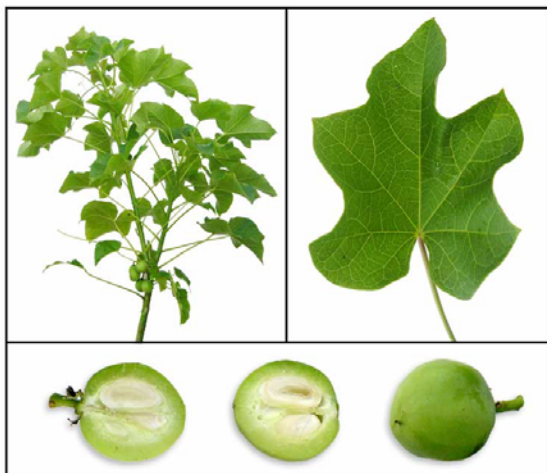


Figura 7-21: Fruto, semillas y hoja de la planta del tempate (PI. P, 2006).

continente americano; de aspecto arbustivo de la familia de las euforbiáceas, que crece desde el nivel del mar hasta los 1000 metros de altitud. En la Región Centroamericana esta planta crece de forma silvestre y es utilizada como cerca viva y el látex contenido en su tallo es empleado como medicina casera principalmente en infecciones bucales.

A diferencia de otros cultivos energéticos anuales utilizados en Europa, el tempate es un cultivo perenne con una vida útil de 30-50 años, lo que permite tener un mayor aprovechamiento del suelo, de recursos y de los productos obtenidos mediante su explotación agroindustrial (UNI, 1997).

Actualmente en El Salvador el cultivo del tempate está en sus inicios, el CENTA (Centro Nacional de Transformación Agraria) se encuentra en etapa de desarrollo para ser cultivado a nivel agroindustrial, con el fin de aprovechar los subproductos que genera (aceite, torta, cascarilla).

³¹ basado en: UNI, (1997).

Este producto agrícola ha sido ignorado desde hace mucho tiempo, hoy con el alza de precios de los combustibles se comienza a valorizar su potencial en la fabricación de combustible alternativo.

El CENTA cuenta con un documento de referencia de origen nicaragüense, tomándolo como base para dicha estructuración a escala industrial y así poder emplearlo en la producción de biodiesel.

La composición base húmeda de la semilla del tempate es la siguiente:

15% representa la semilla seca, la cual está integrada por 30-38% de aceite crudo, 32% de torta y 38% de cascarilla.



Figura 7-22: Flor de la planta de tempate (Pl. P, 2006).

La Torta, luego de ser procesada para eliminar la toxicidad, tiene un contenido proteico entre el 55 y 58%, y puede ser utilizada como forraje porcino y avícola.

El Aceite Crudo es utilizable como materia prima para producción de aceite comestible y para la producción de Biodiesel.

La pulpa del fruto se puede utilizar como abono orgánico en el área agrícola, incorporándolo al suelo en las plantaciones después de un proceso de compostaje.

La cascarilla de la semilla, puede utilizarse como combustible en los hornos para la generación de calor en el proceso de secado de la semilla.

7.5.7 COCO³²



El cocotero (*Cocos nucífera*), es originario de ASIA y de donde se ha extendido a todo el mundo.

La forma de diseminación mundial es todavía incierta; sin embargo, las teorías asociadas a su distribución en zonas pobladas por el hombre son las más aceptadas.

Figura 7-23: Hojas y fruto del cocotero, (PI. p, 2006).-

El coco se cultiva principalmente en las zonas costeras del país, dado que esta planta se desarrolla en lugares cálidos, secos, arenosos y soleados, siendo adecuado para el buen crecimiento del cocotero.



El tronco de cocotero es un espite no ramificado en su extremo superior o ápice; presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema terminal que posee la planta, la inflorescencia es la única ramificación del tallo. El crecimiento en altura depende de las condiciones ecológicas y la edad de la planta, también varía entre los diferentes tipos de cocoterros.

Figura 7-24: Fruto del cocotero (PI. P, 2006).

³² Basado en: IICA-- MAG, (2001).

La hoja del cocotero es de tipo pinada y está formada por un pecíolo que casi circunda el tronco, continuando un ráquis del cual se desprenden 200 – 300 folíolos; el rango de la hoja puede alcanzar los 6 metros y es menor al aumentar la edad de la planta.

Posee inflorescencias paniculadas axilares protegidas por una bráctea llamada espada. La espada, se desarrolla en tres o cuatro meses, posteriormente se abre y libera las espigas.

El fruto es una drupa formado por una epidermis lisa, un mesocarpio espeso (estopa), del cuál se extrae fibra. Más al interior se encuentra el endocarpio que es una capa fina y dura de color marrón (hueso). Envuelto por él se encuentra el albumen sólido o copra que forma una cavidad grande donde se aloja el albumen líquido (agua de coco) o endospermo.

El contenido de aceite o lípidos en el coco cuando la copra esta tierna es de 5.5% y cuando está madura es de 26.1%.

El aceite de coco puede ser extraído directamente del endospermo o de la copra. En el primer caso, no tiene prácticamente color y presenta un bajo nivel de acidez (0.1-0.2%). Cuando se extrae de la copra, adquiere un color marrón-amarillo, y la calidad del aceite estará directamente relacionada con la calidad de la copra.

Es utilizado para la cocina, como producto cosmético (cabello y cuerpo), así como para el uso industrial. El aceite refinado se utiliza principalmente en la fabricación de productos de panadería, pastelería, chocolate, productos farmacéuticos y pinturas (IICA-MAG, 2001).

7.5.8 MORRO³³

En El Salvador, Nicaragua y otros países de Centroamérica, existen regiones extensas donde crece en forma silvestre el árbol conocido con el nombre de “morro” (*Crescentia*



alata y/ o *C. cujete*) del cual se obtiene la semilla que es la base de un refresco conocido como “horchata”, elaborado con harina integral de la semilla previamente tostada, azúcar y otros ingredientes. En base seca esta horchata contiene 8.8% de grasa, 8.6% de proteína y 4.2% de fibra cruda.

Figura 7-25: Semillas y fruto del morro, (Pl. P, 2006).

Las zonas donde crece el morro son tierras de hasta 400 metros sobre el nivel del mar,



con características arcillosas y con clima cálido seco, generalmente empleadas para pastoreo o potreros, de manera que no existe competencia entre esta vegetación y la práctica de otros cultivos agrícolas, de tal forma que el morro y su semilla constituyen un producto natural no explotado y sin competencia en cuanto a espacio de práctica agrícola.

Figura 7-26: Flor y fruto del morro (Pl. P, 2006).

³³ Fuente: DelCid, (1980).

Además, el contenido de aceite en la semilla, (mayor de 30%) lo sitúa entre las oleaginosas de alto contenido, sin contar que su proteína puede ser fuente potencial del triptofano.



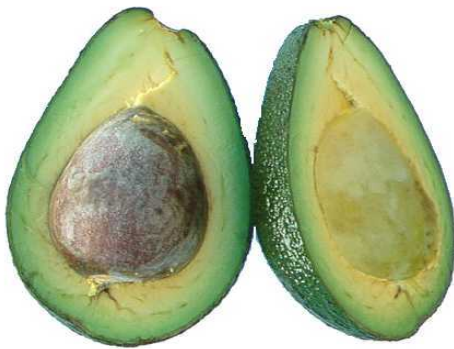
Figura 7-27: Hojas del árbol de morro (PI. P, 2006).

La semilla seca contiene 33.4% de grasa, 16.8% de fibra cruda y 25.1% de proteína, lo que la clasifica como fuente potencial de proteína y aceite. Algunos análisis determinan que la semilla proporciona 30.28% de aceite y 65.4% de harina. La cáscara constituye el 26.3% del peso total de la semilla y es una fracción rica en fibra cruda, mientras que la almendra representa el 73.7% del peso de la semilla y es muy rica en grasa y proteína.

El cultivo del morro no es un cultivo comercializado, ya que crece en forma silvestre y sin tecnificación agrícola, encontrándose en aquellas zonas en donde existe una mayor población de morro un promedio de dos árboles por área de 100 m² con producción promedio de 750 frutos/ árbol y considerando que cada fruto posee aproximadamente 70 g de semilla con una humedad de 70%, por lo que en una manzana de terreno se podrían cultivar aproximadamente 150 árboles, los cuales proporcionarían 7,875 Kg de semilla húmeda y al secarse hasta un 8% de humedad, se obtendría un rendimiento de 2,568 Kg de semilla seca, lo que permitiría obtener aproximadamente 770.4 Kg de aceite, si se considera un contenido de 33.0% en la semilla (Del Cid, 1980).

7.5.9 AGUACATE³⁴

El aguacate o palto (*Persea americana*), es un árbol que mide entre 5-15 m. de altura y se cultiva principalmente en países como: California, Florida, México, Guatemala, Antillas, Brasil y España.



La época de floración en el hemisferio norte puede ser: temprana, en enero-febrero, media, en febrero-marzo, y tardía, en marzo-abril. El peso de la fruta tiene un rango bastante amplio que en las variedades comerciales oscilando entre 120g y 2.5 Kg; la corteza del mismo varía de delgada a gruesa y de arrugada a lisa.

Figura 7-28: Fruto y semilla del aguacate (PI.P, 2006).

El fruto del Palto (árbol), tiene un peso variable entre cincuenta gramos y dos kilos, en general tiene forma oval o casi esférica, algunos son alargados en el cuello o extremo superior.

Originalmente hay tres variedades de la misma raza: la guatemalteca, la antillana y la mexicana, presentando diferencias en el tamaño, contenido de aceite, color y sabor de la pulpa.

El aguacate no se madura en el árbol sino después de ser arrancado, siendo más rápido al ser envuelto en hojas de periódico.

³⁴ Fuente: Journeytoforever, (2001).

Es rico en nutrientes, contiene ácidos grasos esenciales, minerales, proteínas y vitaminas A, B6, C, D y E.

Dicho fruto posee un alto contenido de aceite (del **12 al 30%p/p**) y al igual que el fruto, el aceite del aguacate tiene un color verde oscuro.



Figura 7-29: Hoja y flor del árbol de aguacate (Pl. P, 2006).

El contenido lipídico de la pulpa y del aceite es mínimo en ácidos grasos saturados y muy rico en monoinsaturados, de los cuales aproximadamente el 96%p/p es ácido oleico; los poliinsaturados están representados casi en su totalidad por Linoleico.

Del aguacate, se puede elaborar aceite tanto de la pulpa, como de la semilla. Al extraerlo de la pulpa se puede extrudir tal cual; y en la semilla se hace necesario reducirlo de tamaño para poderlo introducir en el extrusor (oil extruder).

En El Salvador, este fruto, recién comienza el desarrollo de su cultivo, esta actividad está siendo inspeccionada por IICA (Instituto Interamericano de Cooperación Agraria) de El Salvador y por medio del CENTA (Centro Nacional de Transformación Agraria), como un aporte para el desarrollo agrícola.

Ahora que se han identificado las especies oleicas potenciales para la elaboración de biodiesel en El Salvador, se elaboró un cuadro comparativo con la finalidad de estimar el potencial de producción de biodiesel y el índice de sustitución del diesel fósil, si todas estas especies se tomaran en cuenta en tal elaboración (Cuadro 7.4).

Cuadro 7.4: Comparación de especies oleaginosas en El Salvador para determinar la posible explotación en la elaboración de biodiesel.

Material	Nombre Científico	Área de siembra (Mz.)	Cosecha período	Rendimiento cosecha (qq / Mz.)	Contenido de aceite (Expresado en % p/p)	Usos actuales	Usos potenciales
Aguacate Fruto	Persea american	En desarrollo	N.C*	N.C	12-30 ¹	Alimento, extracción de aceite esencial, aceite para la industria cosmética (jabón, maquillaje, etc.)	elaboración de biodiesel
Ajonjolí Semilla	Sesamun indicum	11,000	2001/ 2002	12.0	43 ²	Elaboración de aceite comestible, fabricación de margarinas, industria farmacéutica, cosméticos y pinturas.	Elaboración de biodiesel, síntesis de ésteres.
Algodón Semilla	Gossypium herbaceum	289	2001/ 2002	37.1	34 –36 ²	Industria textil, extracción de aceites, alimento de ganado	Producción de metil éster, cosmética.
Coco fruto	Cocos nucífera	12,000	2001/ 2002	352.0	5.5 – 26.1 ³	Industria de alimentos, cosmética, farmacéutico y pinturas.	Elaboración de biodiesel, producción de jabón anti-bacterial.

Fuente: ¹ Journeytoforever, (2001); ² CENTA, (1995- 2005); ³ IICA-- MAG, (2001);

pasa.....

* N.C: no cuantificable, sin registros en MAG.

Cuadro 7.4: Comparación de especies oleaginosas en El Salvador para determinar la posible explotación en la elaboración de biodiesel.

Material	Nombre Científico	Área de siembra (Mz.)	Cosecha período	Rendimiento cosecha (qq / Mz.)	Contenido de aceite (Expresado en % p/p)	Usos actuales	Usos potenciales
Higuerillo Semilla	<i>Ricinus communis</i>	silvestre	N.C*	N.C	35 – 60 ²	Industria farmacéutica, textil, cosmética, pinturas, plástica, mecánica, siderurgia.	Producción de biodiesel.
Maní Semilla	<i>Arachis hipogea</i>	1,435	1993 -1994	34.97	45 ²	Industria de alimentos, producción de aceite, alimento para ganado.	Elaboración de biodiesel, industria cosmética, plástica.
Morro Semilla	<i>Crescentia alata</i>	Silvestre desértica	N.C	N.C	33.4 ⁴	En la industria de alimentos: como refresco.	Elaboración de biodiesel, extracción de aceite para consumo humano, farmacéutica.
Soya Semilla	<i>Glycine max</i>	1,105	1989	No disponible	37 – 38 ²	Industria aceitera, producción de harina proteica, cosmética y pinturas.	Biodiesel, extracción de ácidos grasos importantes.
Tempate Semilla	<i>Jatropha curcas</i>	Silvestre dispersa	En desarrollo	N.C	30 – 38 ⁵	Como cerco, energético: leña	Extracción de aceite para producción de biodiesel, de la torta abono orgánico o alimento para ganado si se elimina el tóxico.

Fuente: ²CENTA, (1995- 2005); ⁴ DelCid, (1980); ⁵UNI, (1997).

* N.C: no cuantificable sin registros en MAG.

El cuadro 7.4, muestra que existen cultivos oleaginosos que no han sido explotados (por el momento) agroindustrialmente (morro, aguacate y tempate), con el fin de producir aceites destinados a diversas actividades como la: alimenticia e industrial (textil, pinturas, metalmecánica, entre otras) y en especial destinarse para elaborar biodiesel.

Por lo tanto, con una mayor investigación en el área agrícola, estas especies oleicas pueden adquirir un valor económico sensible.

Por otro lado existen especies que ya no se cultivan industrialmente en El Salvador como son la soya y el maní, esto puede deberse a los costos elevados de cosecha, mano de obra, ocupación de tierras en otros cultivos, o que ya no represente valor económico considerable.

Las oleaginosas como el maní, algodón, morro, soya, ajonjolí, Higuerrillo y coco, poseen una alta aplicación en el sector alimenticio, industrial y farmacéutico, por lo que podría dificultar el objetivo de emplearlos como materiales utilizables en la transesterificación.

Sin embargo, estas especies poseen valor potencial, ya que en países como Estados Unidos y Argentina poseen como materia prima al aceite de soya para fabricación exclusiva de biodiesel (Cala, 1999).

Es importante destacar que se han identificado a estas especies, con el objeto de producir biodiesel, y así estimar el índice de sustitución de la demanda del diesel para lograr potencialmente una reducción en la dependencia de los productos del petróleo; mostrándose en el cuadro 7.5.

Cuadro 7.5: Cuadro comparativo entre la demanda del biodiesel y una posible sustitución con biodiesel a partir de aceites provenientes de oleaginosas.

Especie oleaginosa	Rendimiento de biodiesel (m ³ / Ha)	Área de siembra cultivada (Ha)	Cantidad de biodiesel estimado a producir anualmente (m ³)
Aguacate Fruto	2.46	No disponible	-
Ajonjolí Semilla	No disponible	7,687.858	-
Algodón Semilla	No disponible	201.981	-
Coco fruto	2.51	8,386.75	21,050.74
Higuerillo Semilla	1.32	No disponible	-
Maní Semilla	0.99	1,002.916	992.89
Morro Semilla	No disponible	No disponible	-
Soya Semilla	0.42	772.28	324.36
Tempate Semilla	1.59	No disponible	-
TOTAL			22,367.99

Elaborado, a partir de los datos proporcionados por CNPML, (2006)³⁵.

En el cuadro 7.5, para estimar la cantidad potencial de biodiesel que se produciría con estas especies (exceptuando a las especies silvestres, debido a que no se cuenta por el momento con información de su área de cultivo) se ha tomado una base de cálculo de un año de producción y junto con la información presentada en el cuadro 7.4, se estima la cantidad potencial de producción de biodiesel.

El índice de sustitución de la demanda anual del diesel se calcula así:

³⁵ Nota: la información se obtuvo de la página web del Centro Nacional de Producción Mas Limpia (CNPML).

Demanda anual de diesel en El Salvador como lo indica Badía S.E y Solano B.A, (2006) que es de 454,252.94 m³.

$$I_s = \frac{B_p}{D_f} * 100\%$$

Donde:

I_s = Índice de sustitución de la demanda anual del diesel.

B_p = Producción anual total del biodiesel en m³ (cuadro 7.5).

D_f = Demanda anual del diesel fósil en m³.

Entonces:

$$I_s = \frac{B_p}{D_f} * 100\% = \frac{22,367.99}{454,252.94} * 100\% = 4.92\%$$

La estimación anterior refleja que en El Salvador, con dichos cultivos se tendría la capacidad de sustituir un 4.92% de la demanda anual del diesel fósil a partir de estas especies. No obstante, existen especies oleicas que ya no son cultivadas, tomando en cuenta, que las oleaginosas indicadas se encuentran actualmente destinados a otros usos que difieren de cultivos energéticos.

Sin embargo, existen especies potencialmente disponibles como son: el aguacate, el tempate y el higuerrillo, por lo cual, comienza a dársele desarrollo a estos cultivos (MAG, 2006).

El cálculo anterior, deja en manifiesto que no se alcanza a cubrir el 5% de la demanda del diesel, pero es de recordar, que también puede producirse biodiesel, a partir de grasas animales y aceites usados contribuyendo a lograr esta fracción de sustitución; debido a esto, en la sección 8.0 y 9.0, se realizará un análisis a los materiales grasos residuales, y así evaluar la probabilidad de producir biodiesel y el posible índice de sustitución del diesel fósil.

8. MATERIALES GRASOS RESIDUALES

8.1 GRASAS DE ORIGEN ANIMAL

En El Salvador existen industrias en las cuales desechan los residuos grasos; en primera se encuentran las industrias de alimentos que generan desperdicios grasosos al procesar sus alimentos (pieles de pollo, grasas excesivas en las carnes). En algunas empresas alimenticias, venden estas grasas para producir de alimento de ganado y generación de abono; en otras (como comedores y cafeterías pequeñas) simplemente lo desechan de manera inadecuada.

En segunda se encuentra la industria de curtiembre, el cual es una de las industrias de mayor importancia en El Salvador, ya que genera un producto de gran valor económico que son los cueros, ampliamente utilizado en la fabricación de productos finales como: zapatos, cubiertas de asientos, carteras, vestimentas, etc.; sin embargo, en el procesamiento de las pieles se obtienen diversos desechos que algunas veces son eliminados de manera inadecuada, ya sea tirados a los ríos o enterrados en rellenos inadecuados, agravando los problemas ambientales y aumentando los niveles de enfermedades (García y Guzmán, 1994). Un ejemplo de este desecho lo constituye el producto que se origina en el descarte (proceso inicial, que elimina del cuero fresco restos de carne y piel con contenido de grasa) que presenta un contenido de grasa alrededor de 30 –40%p/p.

La grasa producida de la carnaza, es aprovechada en la fabricación de jabón (García y Guzmán, 1994); no obstante, también puede destinarse a la fabricación de BIODIESEL, atribuyendo una posible importancia al insumo para su producción.

Para tener un indicio acerca de la cantidad de grasa desechada, es necesario realizar una estimación teórica a partir de la información generada en las organizaciones gubernamentales y datos encontrados en libros y en la Internet.

En el Cuadro 8.1 se resume para el período 2002/ 2003 el total de ganado porcino, bovino y aves de corral sacrificados, y el contenido teórico de grasa, para estimar la cantidad teórica de la grasa generada.

Cuadro 8.1: Estimación de grasa generada por las industrias de cueros y de alimentos correspondientes al ganado vacuno, porcino y aves de corral para el año 2002.

	Ganado bovino	Porcino	Aves de corral
Cabezas¹	1,300,891	153,463	96,138,409
Producción de pieles o carne fresca (Kg.)¹	3,884,826 (pieles)	68,706 (pieles)	59,578,827 (pollo entero fresco)
Contenido estimado de grasa	35% ²	25% ³	15% ³
Total estimado de grasa (Kg.)	1,359,689.0	171,76.5	8,936,824.00

Fuente: ¹ MINEC, (2002); ² García y Guzmán, (1994); ³ Ganuza, (2000)

Los contenidos teóricos de grasa para cada producto son conforme lo indican las referencias bibliográficas consultadas, con el propósito de estimar la cantidad de grasa desechada en el sector alimenticio e industrial; no obstante, la grasa de ganado bovino y porcino se utilizan en la fabricación de jabón artesanal; en cuanto a la grasa de pollo parte de ella se emplea en la fabricación de alimento de ganado y el resto es desechado. Por lo cual, se tomará como la materia prima de interés principal para los apartados 8.0 y 9.0; suponiendo que el 100% del subproducto formado constituye la cantidad potencial para producción de biodiesel.

8.2 ACEITE RESIDUAL DE COCINA

Desde tiempos antiguos se le ha conferido al aceite, valor económico y organoléptico, especialmente en la industria de preparación de alimento, de ahí su importancia económica. Las ventas de aceite se estiman por millones de dólares anuales en el mundo.

Aparte del aspecto económico en el uso de los aceites, se encuentra el aspecto ambiental: en los países desarrollados, poseen reglas ambientales estrictas acerca de la disposición final de los residuos, destinándose a diferentes actividades de reciclado como generación de abono, alimento de ganado e incluso para la producción de biodiesel; sin embargo, en aquellos países en vías de desarrollo, el aceite después de utilizado es desechado de manera inadecuada, algunas veces son eliminados a los tragantes y de ahí a los alcantarillados públicos como desecho doméstico.

Ahora bien, las industrias alimenticias (de comida rápida, fábrica de frituras, industrias paneras, etc.); están monitoreadas por instancias encargadas de velar por la disposición adecuada de los aceites viéndose obligadas a almacenarlos y/o venderlos para ser quemados.

A este tipo de aceite se le conoce con las siglas AVU, (Aceite Vegetal Usado) por ser ya usado, contiene menor cantidad de triglicéridos, una mayor proporción de humedad y el contenido de ácidos grasos libres es mayor. Este aceite podría convertirse en otro insumo de importancia en la fabricación de biodiesel, según la cantidad de desecho obtenida.

De acuerdo a DMA - UDB, (2004), se estima que en El Salvador, el volumen de generación de aceites y grasas residuales para el año 2003 ascendió a un total de 29,316.0039 ton, con el supuesto que de un volumen de 146,580 ton de aceites y

grasas que se importaron para ese mismo año, el 20% se convirtió en desecho; siendo los principales consumidores la industria local.

Este mismo estudio revela que la industria alimenticia, en especial las panaderías, restaurantes y el sector informal (comedores y cafeterías) establecen un rubro económicamente importante y rentable, desde el punto de vista económico. Al mismo tiempo constituyen un componente crucial en la generación de desechos (especialmente aceites y grasas residuales. Muchos de estos negocios eliminan los aceites a los tragantes o sino lo tiran a la basura, resultando muy difícil calcular este valor en su totalidad (DMA- UDB, 2004).

Dentro del sector alimenticio, se encuentran las grandes empresas manufactureras de frituras (boquitas fritas o snack), restaurantes, cafeterías y comedores, siendo uno de los rubros económicos más importantes de El Salvador, lo que se estima un total de 14,418 empresas existentes en este sector, de las cuales 14,144 son microempresas (comedores, cafeterías), 138 constituyen pequeñas empresas (mini restaurantes, panaderías), 115 son mediana empresa (restaurantes), y 21 son grandes empresas (fábrica de frituras), estos datos se presentan en la figura 8.1 (CNPML,2002).

Ahora que se tiene un estimado de la distribución de la industria alimenticia dentro del sub- sector hoteles y restaurantes, es importante conocer el volumen de producción de aceites vegetales en El Salvador, presentándose en el cuadro 8.2.

Grupo 63. Hoteles y restaurantes

	# EMPRESAS	# PERSONAS
MICROEMPRESA	14144	15460
PEQUEÑA EMPRESA	138	1984
MEDIANA EMPRESA	115	4055
GRANDE EMPRESA	21	6926
	14418	28425
ZONA	No. DE EMPRESAS	
OCCIDENTAL	3020	
CENTRAL	9254	
ORIENTAL	2144	
TOTAL	14418	

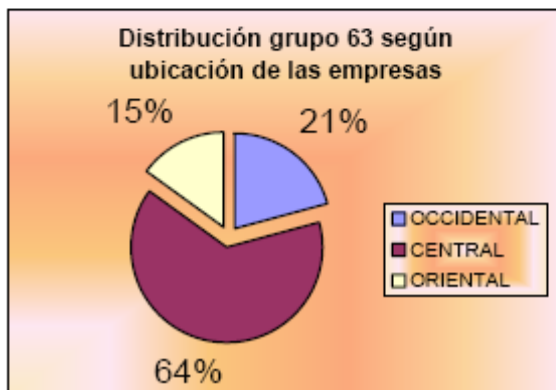
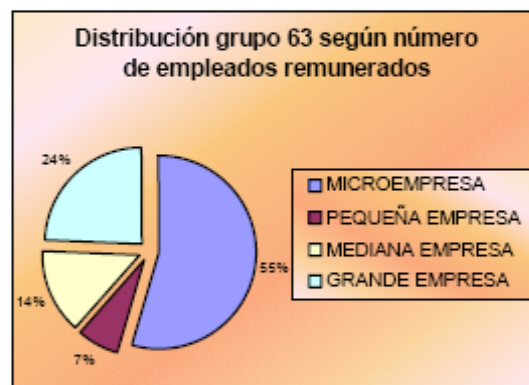
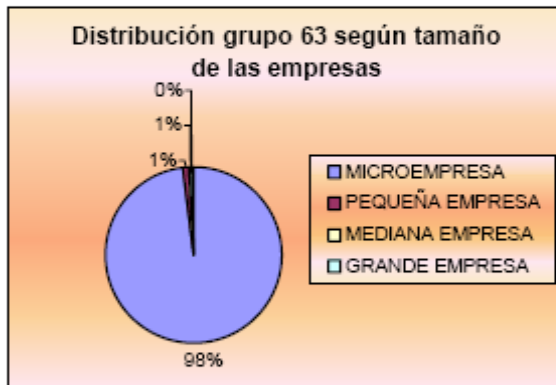


Figura 8-1: Distribución del sub-sector económico Hoteles y restaurantes por tamaño, número de empleados y por distribución geográfica en El Salvador, (CNPML, 2002)

Cuadro 8.2: Volumen de producción de aceites vegetales en El Salvador para el período 1999 – 2002.

	Volumen de producción en TM. Para el período 1999 - 2002			
	1999	2000	2001	2002
Aceite de algodón	319	260	337	337
Aceite de copra	4,224	4,237	4,224	4,224
Aceite de girasol	0	0	0	0
Aceite de maíz	0	0	0	0
Aceite de oliva	525	525	525	525
Aceite de ricino	0	0	3	3
Aceite de sésamo	45	45	45	45
Aceites grasas vegetales.	5,187	5,142	5,227	5,227
TOTAL				10,361

Fuente: OPE- MAG, (2003)

La producción de aceites vegetales en El Salvador, se limita solamente a la refinación de aceite bruto importado; la forma de comercialización es compuesta por los siguientes participantes: productor/ fabricante, exportador, empacador, y el distribuidor (OPE – MAG, 2003).

Los distribuidores, son los que proveen de aceite refinado a la industria de alimentos, por no haber un sistema de distribución dirigido especialmente a este sector; en muchos casos los supermercados son quienes se encargan de surtir de el producto refinado al sector alimenticio (OPE – MAG, 2003).

Para estimar la cantidad de aceite desechado, se deben disponer datos de importación y exportación; esta información se muestra en el cuadro 8.3.

Cuadro 8.3: Datos de Importación y Exportación de algunos aceites y grasas para el año de 2005.

Material oleaginoso	Importaciones		Exportaciones	
	Cantidad (Kg.)	Origen	Cantidad (Kg.)	Destino
Aceite de soya y fracciones incluso refinado	8,001,341	Estados Unidos	158,475	Guatemala
	3	Nicaragua		
	515,050	Costa Rica		
	5,877,500	Argentina		
	14,393,894			
Aceite de maní en bruto	50	Estados Unidos	0	NO SE DISPONE DE INFORMACION
Aceite de ajonjolí, y sus fracciones	4,410	Estados Unidos	0	NO SE DISPONE DE INFORMACION
	16	Guatemala		
	668	Hong Kong		
	5,094			
Aceite de Ricino y sus fracciones	4	Estados Unidos	0	NO SE DISPONE DE INFORMACION
	30	Guatemala		
	9,200	Alemania Occidental.		
	9,234			
Aceite de girasol, cártamo y algodón en bruto	1	Nicaragua	98,401	Guatemala
	672,000	Argentina	10,000	Honduras
			3,631	Nicaragua
	672,001		112,032	
Aceite de palma en bruto y refinado	16,727,052	Guatemala	22,000	Guatemala
	13,435,216	Honduras	68,000	Honduras
	33,206	Nicaragua	24,000	Nicaragua
	3	Federación Malaya	22,000	Costa Rica
	30,195,477		136,000	
TOTAL DE ACEITES (Kg.)	45,275,700		406,507	

Fuente: MINEC, (2005)

Para estimar la cantidad de aceite residual que se genera anualmente se hace necesario estimar la cantidad de aceite consumido anualmente a nivel nacional aplicando la siguiente ecuación:

$$CN = IM + PN - EX$$

Donde:

CN = Consumo Nacional

IM = Importaciones

PN = Producción Nacional

EX = exportaciones.

Para realizar esta estimación, se supondrá que en la producción nacional de aceites, importaciones y exportaciones, no existe variación significativa anual, manteniéndose constante. Por lo tanto:

$$CN = 45,275.7 + 10,361.0 - 406.51 = 55,230.19 \text{ TM de aceite.}$$

Todos estos datos se han convertido a toneladas métricas.

Considerando que del consumo nacional un 20% representa al aceite usado, de acuerdo a DMA-UDB, (2004), se estima el total de aceite de desecho en la siguiente forma:

$$\text{Total de aceite de desecho} = 55,230.19 * 0.2 = 11,046.4 \text{ TM}$$

Al sumar la cantidad de grasa de pollo estimada, de las actividades de la industria de alimentos, el volumen general de desechos de aceites y grasas es:

$$\text{Total de aceite y grasa desechado} = 11,046.4 + 8,936.824 = \mathbf{19,982.86TM.}$$

(Tomando en cuenta que no existe variación anual)

La estimación anterior muestra que se está desechando una cantidad considerable de aceites y grasas residuales que podrían ser aprovechados en la producción nacional de biodiesel.

9. CARACTERIZACION DE LAS MATERIAS PRIMAS Y ELABORACION DE BIODIESEL

9.1 INTRODUCCIÓN.

La fase experimental está encaminada a la selección y caracterización del material graso disponible; así como elaboración y caracterización de biodiesel partiendo de estas mismas sustancias, con el fin de determinar la viabilidad de su aprovechamiento en la elaboración de biodiesel.

Para la selección de los materiales grasos disponibles en El Salvador se tomará en consideración los siguientes factores: la disponibilidad de fuentes oleicas cultivadas, rendimiento de cosecha, la cantidad estimada de grasas y aceites residuales, contenido teórico de aceite y la información relacionada con la transesterificación del proceso.

De la información analizada se seleccionaron **la grasa de pollo y el aceite usado de cocina proveniente de frituras**, no se evaluarán experimentalmente especies vegetales, debido a que existe por el momento poca disponibilidad de cultivo de especies oleaginosas, ya que sería importante evaluar los aspectos agroindustriales para su cultivo.

Por otra parte, las grasas y aceites residuales, son materiales de mayor disponibilidad que resultan de actividades relacionados con el consumo de alimentos.

Para determinar si el biodiesel elaborado a partir de la grasa de pollo y el aceite usado se encuentra dentro de un margen aceptable, se hará necesario realizar una comparación con los estándares internacionales; determinando a nivel de laboratorio la medición de algunas de las propiedades, tomando como base la norma ASTM D-6751. (Ver Anexo 6.0)

Al final de esta etapa se llegará a la conclusión, acerca de la conveniencia de aprovechar estas materias primas, en la producción de biodiesel.

9.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS SUSTANCIAS OLEAGINOSAS SELECCIONADAS.



Figura 9-1: Aceite usado y grasa de pollo para realizar la experimentación³⁶

Para iniciar la experimentación se hace necesario aclarar que al aceite usado y la grasa de pollo, se utilizaron tal y como fueron obtenidos. En este apartado se indicarán las características físicas y químicas que presentaron y que influyen en la reacción de transesterificación.

Los parámetros a determinar son: contenido de agua y de sólidos, contenido de acidez libre, determinación de densidad y para la grasa cruda de pollo la cantidad de grasa extraíble. Estas variables han sido seleccionados debido a los factores siguientes: Transporte de fluidos, efectos en la reacción y conversión del aceite y grasa a metil ester.

9.2.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.

La determinación experimental de la densidad se realizó a temperatura ambiente y a temperatura de 45°C. Este análisis se efectuó en el laboratorio de

³⁶ Foto tomada por Jessica Zelaya (octubre, 2006)

la planta piloto de la Escuela de Ing. Química, y utilizando el método indirecto de relación de propiedades.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Beaker de 500 ml.

Balanza granataria.

Fuente calorífica (HOT PLATE).

Termómetro (0-100°C).

b. PROCEDIMIENTO:

1. Medir la densidad de las muestras a temperatura ambiente. Si se dispone de un juego de picnómetros, cambiar los bulbos hasta encontrar el que flote a la superficie de la muestra; caso contrario llenar el beaker, a la marca de volumen y luego cuantificar su peso, la relación entre la masa y el volumen es la densidad de la muestra.
2. para la medición de la densidad a una temperatura mayor, calentar la muestra en la fuente calorífica y luego realizar lo mismo que en el paso 1.

La ecuación de la densidad es la siguiente:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ = Densidad del aceite usado y/ o grasa de pollo.

m = Masa del volumen del aceite usado o grasa de pollo.

V = Volumen de la muestra, a analizar.

c. CALCULOS Y RESULTADOS.

Los resultados de las densidades se muestran en el cuadro 9.1, y el ejemplo de cálculo se muestra en el anexo 5.0.

Estos resultados fueron obtenidos de manera indirecta (volumen constante de 500 ml y a dos temperaturas, la ambiente y a una temperatura de 45°C), para obtener una mayor precisión de los datos obtenidos, se realizaron dos repeticiones.

Cuadro 9.1: Resultados de las pruebas de determinación de densidad.

V_{cte} = 500 ml.	MUESTRA DE GRASA DE POLLO A FUEGO DIRECTO		MUESTRA DE ACEITE VEGETAL USADO	
	M1	M2	M1	M2
Repeticiones				
Peso del beaker de 600 ml. a Temperatura ambiente (gr.)	229	243,6	186,1	216
TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C				
Peso total (gr.)	682,7	670,3	615,4	673,7
Peso muestra (gr.)	453,7	426,7	429,3	457,7
DENSIDAD a Tambiental 30°C (gr. / cm³)	0,9074	0,8534	0,8586	0,9154
DENSIDAD PROMEDIO (gr. /cm³)	0,8804		0,8870	
TEMPERATURA DE 45°C				
Peso total (gr.)	681,5	669,1	614,2	670,3
Peso muestra (gr.)	452,5	425,5	428,1	454,3
DENSIDAD A 45°C (gr. /cm³)	0,905	0,851	0,8562	0,9086
DENSIDAD PROMEDIO (gr. /cm³)	0,8780		0.8824	

Fuente: experimentación directa.

9.2.2 CONTENIDO DE SÓLIDOS EN EL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.



Se determinó el contenido de sólidos en las muestras oleicas utilizando la marcha de la norma ASTM D-2709. Esta experimentación fue realizada en los laboratorios de la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química (P.P).

Figura 9-2: Determinación de sólidos por el método de la centrifuga³⁷.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Tubos de Centrifuga de marca de 50 - 100 ml.

Gradilla.

Centrifuga.

Pipeta graduada de 25 ml.

Probetas graduadas de 250 ml.

Frasco lavador.

Fuente de calor (Hot Plate).

b. PROCEDIMIENTO:

1. Colocar 10 ml. De muestra de grasa de pollo y de aceite usado por duplicado en los tubos centrifuga (dos de cada uno); taparlos asegurándose que no existan fugas.

³⁷ Foto tomada por Jessica Zelaya (octubre, 2006)

2. Agitar vigorosamente las muestras para homogenizar y luego colocarlas en la centrífuga.
3. Con el diámetro del swing calcular la velocidad de rotación (revoluciones por minuto) a un rango de 500- 800 rfc. (en ingles: fuerza centrífuga relativa) dado por la tabla 2 de la norma ASTM D- 1796 Vol. 05.01.
4. Mantener la velocidad por 10 minutos.
5. Si no puede distinguirse el volumen separado de sólidos, repetir de nuevo el procedimiento.
6. Al final, si existe una separación de fases, calcular el contenido de sólidos en %volumen para cada muestra, aplicando la fórmula siguiente:

$$\%Volumen = \frac{V_{sólido}}{V_{total}} * 100\%$$

Donde:

$\%Volumen$ = Volumen de sólido por unidad de volumen de muestra.

$V_{sólido}$ = Mililitros del sólido ocupado en el tubo centrífuga.

V_{total} = Mililitros de la muestra.

Finalmente calcular el promedio de estos valores.

c. CALCULOS Y RESULTADOS.

Los resultados generados a partir de la centrifugadora se muestran en el cuadro 9.2, con 4 repeticiones a fin de poseer una estimación precisa en la estimación de esta propiedad.

Ejemplo de cálculo: para la grasa de pollo en muestra M1.

$$\% \text{ volumen} = \frac{0.1}{10} * 100\% = 1\% \text{ v / v}$$

Cuadro 9.2: Determinación del contenido de sólidos en la grasa de pollo y aceite vegetal usado.

REPETICIONES	VOLUMEN DE LA MUESTRA (ml.)	SÓLIDOS EN LA GRASA DE POLLO (ml.)	SÓLIDOS EN EL ACEITE VEGETAL USADO (ml.)
M1	10,0	No detectado	0,1
M2	10,0	0,1	No detectado
M3	10,0	0, 1	No detectado
M4	10,0	No detectado	0,1
PROMEDIO DE MUESTRAS.		0,1	0,1
CONTENIDO DE SÓLIDOS %V/V		1%	1%

Fuente: experimentación directa.

9.2.3 CONTENIDO DE AGUA EN EL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.

Para la realización de esta prueba se recurrió al método por arrastre de Tolueno (O en su caso ASTM D-5348 o ASTM D-5349), esta experimentación se obtuvo en los laboratorios fisicoquímicos del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud. (CENSALUD).

El proceso consta del uso de un matraz y una trampa de agua depositado en el fondo, a medida que la muestra va destilando agua cae a un tubo graduado y al final del proceso se determina el porcentaje de humedad expresado en % volumen (Ayres, 1970).

El reactivo utilizado es Tolueno cubriendo a la muestra, es insoluble en agua, e idóneo para el proceso.

a. MATERIAL Y EQUIPO

Erlenmeyer de 500 ml.
Fuente de Calor (HOT PLATE)
Condensadores
Trampas de AGUA
Beaker de 150 ml
Probetas graduadas de 100 ml.
Frascos lavadores.-
Soporte Universal.
Termómetro (0 – 100 °C).

REACTIVOS.

800 gramos de Tolueno.
20 gr. De muestra de grasa
20 gr. De aceite usado.
10 ml. De ácido sulfúrico.

b. PROCEDIMIENTO:

Calibración y lavado:

1. Pesar 10 gr. De agua y agregarlo al erlenmeyer.
2. Cubrir la muestra con Tolueno.
3. Armar el aparato mostrado en la siguiente figura e inmediatamente después empezar la destilación, hasta remover toda el agua contenida.
4. Repetir la operación una vez más.
5. Lavado:
 - a. Lavar con jabón y agua caliente, luego enjuagar con ácido sulfúrico y volver a enjuagar.
6. Prueba:
 - a. Colocar 10 gr. De muestra y cubrirla con tolueno.
 - b. Destilar la muestra hasta que no destile más agua.
 - c. Al final del proceso calcular el contenido de agua con la siguiente ecuación:

$$\% W_{H_2O} = \frac{W_{H_2O}}{W_{muestra}} * 100\%$$

Donde:

$\%W_{TH2O}$ = Contenido de agua, por arrastre de Tolueno en la muestra.

W_{TH2O} = Cantidad de agua detectada expresado en gramos.

$W_{muestra}$ = Cantidad de la muestra expresada en gramos.

c. CALCULOS Y RESULTADOS.

El contenido de la humedad presente en el aceite vegetal usado y grasa de pollo extraída (ver anexo 5.4, reporte de análisis y proceso en anexo 5.4.1), se presenta en el cuadro 9.3, así como también la humedad inicial presente en la grasa cruda (ver anexo 5.2).

Cuadro 9.3: Contenido de humedad presente en la grasa de pollo (cruda y extraída) y el aceite vegetal usado.

	MUESTRA DE GRASA DE POLLO			MUESTRA DE ACEITE VEGETAL USADO
	M1	M2	M3	M1
Repetición.				
Cantidad de muestra tomada (gr.)	50.0			50.0
Contenido de humedad por el método arrastre por Tolueno*. (%p/p)	No se detectó			No se detectó
Peso recipiente (gr.) ¹	1.6096	2.0696	1.6483	
Cantidad de muestra tomada (gr.) ²	30.7787	30.8281	30.6619	
Cantidad de muestra al término del secado ³	26.3043	26.2654	26.0531	
Contenido de humedad por secado en estufa (%p/p) ⁴	80.23%	78.5%	79.6%	
Valor Humedad promedio (%p/p) ⁵	79.44%			

Fuente: * Análisis realizado CENSALUD

^{1 2 3 4 5} Análisis realizado a la grasa cruda de pollo en el laboratorio de la planta piloto EIQ.

9.2.4 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD MÁXIMA DE GRASA EXTRAÍBLE.

La extracción de la grasa puede realizarse tanto por método mecánico como térmico, y la mejor metodología depende de la economía resultante en la extracción.

En esta investigación, la extracción se realizó por método térmico, cocinando la grasa sin añadirle agua, puesto que el contenido de agua de esta es alto. La extracción se realizó en zona domiciliar y la cuantificación en los laboratorios de la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Fuente calorífica.

Beaker de 1000 ml., o recipiente metálico.

Trozo de tela que actúe como filtro.

Balanza granataria.

b. PROCEDIMIENTO.

1. Colocar exactamente 453.5923 gr. (1 lb.) de muestra de grasa de pollo crudo por duplicado en el beaker de 1000 ml o en un recipiente metálico y suministrarle calentamiento.
2. Dejar que se consuma toda la humedad adherida y los sólidos adquieran una coloración dorado intenso (suele tardar como 3 hr.); cuando adquieran esta apariencia dejar enfriar y luego pasarlo por la tela filtrante para evitar que la grasa lleve sólidos.
3. Colocar la grasa extraída y separada en el recipiente de medición previamente pesado y determinar cuanto pesa.

4. Realizar el cálculo del rendimiento con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{W_{\text{grasaextraída}}}{W_{\text{grasacruda}}} * 100\%$$

Donde:

$W_{\text{grasaextraída}}$ = Peso de la grasa extraída y libre de sólidos en gramos.

$W_{\text{grasacruda}}$ = Peso de la grasa cruda de pollo en gramos.

c. CALCULOS Y RESULTADOS:

La cantidad extraída de grasa se presenta en el cuadro 9.4, el cual resume el rendimiento de extracción de grasa obtenido; un ejemplo de cálculo se muestra en el anexo 5.3.

Cuadro 9.4: Cantidad y rendimiento de grasa de pollo extraída.

Material	MUESTRA DE GRASA DE POLLO	
	M1	M2
Peso recipiente (gr.)	226.8	225.4
Peso muestra grasa cruda (gr.)	453.5923	453.5923
Peso total extraído (gr.)	552.2	528.1
Peso grasa extraída (gr.)	325.4	302.7
%Rendimiento (%W)	71.74%	66.73%
%Rendimiento promedio	69.24%	

Cuantificación realizada en Planta Piloto EIQ.

9.2.5 CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES EN EL ACEITE USADO Y GRASA DE POLLO.

Esta característica fue determinado por titulación, basado en la norma ASTM D-5555; realizándose en el laboratorio fisicoquímico de CENSALUD. El proceso se efectúa neutralizando los ácidos grasos con una sustancia básica como el

Hidróxido de sodio o de Potasio, y así determinar los gramos de hidróxido necesarios para neutralizar 1 gramo de muestra.

a. MATERIAL Y EQUIPO

Erlenmeyers de 250 ml.
Balón volumétrico de 1500 ml.
Fuente de calor (Hot Plate).
Bureta graduada de 500 ml.
Agitador de vidrio.
Vidrio de reloj.
Espátula.
Balanza semi-analítica.
Beaker de 100 ml.
Embudo de vidrio.
Probeta graduada de 250 ml.
Frasco lavador.

REACTIVOS:

400 ml. De alcohol etílico al 95%.
8 ml. De solución fenolftaleína al 1%.
Hidróxido de sodio 0.1 N estandarizado.
Agua destilada.

b. PROCEDIMIENTO:

1. Colocar una muestra de 3.525 gr. De aceite usado y grasa de pollo (por duplicado); las muestras deben estar completamente líquidas.
2. Agregar 100 ml. De alcohol etílico a cada muestra, y 2 ml de solución de fenolftaleína.
3. Agitar vigorosamente, y realizar la titulación hasta que aparezca la primera coloración rosada algo intensa. El color debe permanecer por lo menos 30 segundos.
4. Calcular el porcentaje de los ácidos grasos libres de la siguiente manera:

$$\% \text{Acidos grasos libres} = \frac{mL_{\text{dehidróxido}} * N * 28.2}{W_{\text{muestra}}} * 100\%$$

Donde:

$\% \text{Acidos grasos libres}$ = Porcentaje de ácidos grasos libres.

$mL_{\text{dehidróxido}}$ = Mililitros de NaOH gastados en la titulación.

N = Normalidad estándar de la solución titulante.

W_{muestra} = Gramos de peso muestra utilizados.

Para convertir a número ácido solamente debe multiplicarse el valor de acidez libre por 1.99.

c. CALCULOS Y RESULTADOS.

La titulación se realizó con una solución estándar de NaOH de **0.98N**, presentándose los resultados en el cuadro 9.5. El reporte de resultados se presenta en el anexo 5.4.

Ejemplo de cálculo del número ácido para la grasa de pollo:

$$N_A = 0.6091 * 1.99 = 1.21 \text{ mg KOH/ gr. De muestra}$$

Cuadro 9.5: Ácidos grasos libres y número ácido para las muestras grasa de pollo y aceite usado de cocina.

MUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA (gr.)	ACIDOS GRASOS LIBRES (%)	NÚMERO ÁCIDO (mg. KOH/gr.)
GRASA DE POLLO	50	60.91%	1.21
ACEITE VEGETAL USADO	50	80.55%	1.60

Análisis realizado en CENSALUD, (2006).

9.3 DISCUSION DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA GRASA DE POLLO Y EL ACEITE VEGETAL USADO.

Los experimentos anteriores, sirvieron de ayuda para la caracterización de las condiciones en las que se encontraban las materias primas grasa de pollo y aceite usado, con el fin de determinar y especificar el método de conversión de biodiesel.

En el cuadro 9.6 se resumen los resultados obtenidos en las materias primas.

Cuadro 9.6: Cuadro resumen de las propiedades obtenidas experimentalmente en la grasa de pollo y el aceite usado de cocina.

Propiedades	ACEITE USADO	GRASA DE POLLO EXTRAIDA A FUEGO DIRECTO
DENSIDAD a 30°C (gr./ cm ³)	0.8870	0.8804
AGUA (%v/v)	No detectado	No detectado
SÓLIDOS (%v/v)	1%	1%
ÁCIDOS GRASOS LIBRES (%p/p)	80.55%	60.91
NUMERO ACIDO(mg. KOH/gr. Muestra)	1.60	1.21
GRASA CRUDA DE POLLO		
CONTENIDO DE AGUA (%p/p)	79.44	
CANTIDAD DE GRASA EXTRAIBLE (gr. De grasa extraída /100gr de grasa cruda)	69.24	

El cuadro 9.6 muestra el resumen de las características de las muestras oleicas de grasa de pollo y aceite usado, al comparar la densidad de ambas muestras entre sí, se observa que tanto la grasa de pollo extraída (0.8804 gr. /cm³ a 30°C) como el aceite usado (0.8870 gr. /cm³ a 30°C) presentan valores de densidad similares, resultando ligeramente más pesada, la muestra de aceite usado de cocina.

El contenido de agua y sedimentos de ambas muestras oleicas, resultó ser favorable ya que no se detectó agua, y la cantidad de sólidos resultó ser mínima (1% ambas muestras), por lo que no será necesario realizar evaporación (para eliminar el agua

presente). Sin embargo, debe realizarse una operación de filtrado para eliminar los sólidos presentes.

Los ácidos grasos libres, para el aceite usado de cocina resultó ser de 80.55%, y para la grasa de pollo de 60.91%, clasificándose como materiales de elevada acidez, por lo que el método de transesterificación para la conversión a biodiesel adecuado es el método ácido-base, lo que minimiza la formación de reacciones secundarias de saponificación.

En cuanto a la grasa cruda de pollo, presenta un contenido de humedad del 79.44%, representando un valor significativo puesto que para extraer la grasa no es necesario añadir más agua y la misma es eliminada en el proceso de cocción.

La cantidad de grasa extraída fue de 69.24gr de grasa extraída por cada 100 gr. De grasa cruda, este valor es aceptable, si se consideran las condiciones que se utilizaron para su extracción (extracción por cocción a temperatura y presión ambientales).

9.4 PRUEBA INICIAL DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIODIESEL.



Figura 9-3: Proceso de producción de biodiesel³⁸.

En esta etapa, se tiene un conocimiento más detallado acerca del proceso de elaboración de Biodiesel. Como resultado de la investigación teórica realizada se adquirió experiencia y familiaridad acerca del proceso de producción.

Se analizaron los procedimientos con una planificación previa para poder lograr un mapa mental de esta etapa.

³⁸ Foto tomada por Jessica Zelaya (octubre, 2006)

9.5 ELABORACIÓN EXPERIMENTAL DEL BIODIESEL.

Luego de haber realizado la caracterización del material principal (aceites y grasas), se procedió a la elaboración experimental del biodiesel. El método a aplicar es el proceso ácido - base (Kac, 2005), debido a que en estas materias primas; contienen una mayor concentración de ácidos grasos libres, y que pueden causar problemas en la transesterificación. El proceso visual se muestra en anexo 5.5.

9.5.1 PRUEBA EXPERIMENTAL PRELIMINAR.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Beaker de 2000 ml.
Fuente de calor (Hot Plate).
Beakers de 150 ml.
Pipeta graduada de 1 ml.
Pera de seguridad.
Agitador mecánico.
Probeta graduada de 100 ml.
Beaker de 500 ml.
Termómetro (0 – 100°C).
Vidrio de reloj.
Recipientes de almacenamiento.
Recipiente separador.
Frasco lavador.

Bomba de acuario con difusor de burbujas.

Balón volumétrico de 2000 ml.

REACTIVOS:

2000 ml de metanol 95% puro.
12 ml. De ácido sulfúrico puro.
21 gr. De Hidróxido de sodio.
Agua destilada.
2000 ml. Ácido fosfórico al 10%.
Papel pH.

b. PROCESO EXPERIMENTAL METODO ACIDO - BASE de Aleks Kac:

PRIMERA ETAPA

1. Medir el volumen de aceite y/o grasas a procesar (de preferencia en litros).
2. Calentar el aceite o la grasa a 35° C (95° F); hasta que la grasa se encuentre totalmente fundida o líquida.
3. La pureza del metanol debe ser como mínimo del 99% o más. La cantidad a adicionar debe ser 0,08 litros de metanol por cada litro de aceite y/o grasas (8% en volumen). Colocar el metanol con la grasa fundida o con el aceite.
4. Mezclar durante cinco minutos. La mezcla se volverá turbia y muy viscosa; puesto que el metanol es una sustancia polar y el aceite es apolar; se formará una emulsión.
5. Con una pipeta graduada agregar 1 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) con una concentración del 95%, por cada litro de aceite.
6. Mezclar despacio y cuidando de no salpicar; manteniendo la temperatura a 35° C. La velocidad del agitador no debe sobrepasar las 500 ó 600 rpm. La velocidad exacta no importa, lo importante es que no haya salpicaduras.
7. Mantener la temperatura en 35° C durante una hora y luego dejar de calentar, pero no de agitar.
8. Continuar agitando durante otra hora pero ahora sin la fuente calorífica. Dejar reposar durante ocho horas como mínimo.
9. Preparar el metóxido de sodio: medir 0,12 litros de metanol por cada litro de aceite y/o grasa (12% en volumen) y 3,1 gramos de NaOH por cada

litro de aceite/grasas (3,5 gramos si la pureza del NAOH no es alta). agregar el NAOH en el metanol y mezclar hasta que se disuelva completamente.

El metóxido de sodio es TOXICO. Se deben tomar todas las precauciones cuando se manipule metanol, hidróxido de sodio o metóxido de sodio. Utilizar gafas protectoras, guantes y ropa gruesa que cubra todo el cuerpo. Tener cerca agua corriente.

NOTA: Este proceso necesita sólo la mitad de la cantidad normal de hidróxido de sodio porque hay menos grasas que transesterificar. Se debe usar NAOH con una pureza del 99% o más. Después de abrir el recipiente de la hidróxido de sodio cerrarlo lo antes posible para que no absorba humedad. Medir la cantidad con cuidado; un exceso de hidróxido de sodio complicará el proceso de lavado.

10. Después de ocho horas de reposo, agregar la mitad del metóxido en la mezcla y agitar durante cinco minutos para lograr la neutralización del ácido sulfúrico y de algunos ácidos grasos libres que no reaccionaron, ayudando así a que se produzca la catálisis alcalina. Si se ha utilizado grasa sólida, es probable que se haya solidificado durante el reposo; por lo que se debe derretir antes.

SEGUNDA ETAPA

ETAPA BÁSICA:

11. Calentar la mezcla hasta 55° C y mantener esta temperatura hasta el final.

12. Añadir el resto del metóxido de sodio y agitar despacio para evitar salpicaduras, la velocidad no debe sobrepasar las 500 o 600 rpm.

Se debe tener presente que al manipular la mezcla de metóxido, la seguridad es importante, el equipo de protección: guantes, gafas y gabacha siempre deben estar puestos, y deben conocerse las medidas de primeros auxilios en caso de un posible accidente.

13. Opcional: Si se cuenta con un recipiente con válvula en el fondo se puede empezar a eliminar la glicerina del fondo 20 ó 25 minutos después del comienzo de la etapa alcalina. Si es necesario dejar de agitar durante unos minutos para que la glicerina se hunda. Drenarla cada diez minutos. Debe tenerse mucho cuidado ya que está bastante caliente y también es corrosiva.

14. En todos los casos: Tomar muestras cada 20 minutos en un vidrio reloj. El color de la muestra debe ser amarillo pajizo, que es el color del biodiesel. La glicerina (marrón y viscosa) se hundirá hasta el fondo del recipiente. Cuando tenga ese color (suele tardar entre 1,5 y 2,5 horas) dejar de calentar y de mezclar.

15. Dejar la muestra en reposo durante una hora.

16. Opcional: para que el lavado sea más fácil, Sacar la glicerina. Medir el 25% del total de glicerina (el total incluye la que se sacó antes, si el paso 15 se llevó a cabo). Mezclar ese 25% con 10 ml de ácido fosfórico al 10% (H_3PO_4) por cada litro de aceite procesado. La mezcla puede hacerse con una cuchara de madera en un recipiente de plástico. Agregar la glicerina acidificada en el reactor y remover durante veinte minutos, sin calentar. Dejar que sedimente al menos seis horas y luego sacar toda la glicerina.

En la etapa ácida los ácidos grasos libres son esterificados y algunos triglicéridos son transesterificados. En la etapa alcalina sólo hay Transesterificación, pero es mucho más rápida y completa.

LAVADO

17. El mejor método es el lavado con burbujas. Agregar un poco de ácido fosfórico al 10% (H_3PO_4) en el agua (10 ml por galón), para tener la seguridad de que no queda hidróxido de sodio.

Medir el pH con papel tornasol. El pH del biodiesel debe ser neutro (pH 7) o casi neutro.

18. Agregar agua al 75% en exceso del volumen de biodiesel que va a ser lavado en un recipiente. El agua debe estar a una temperatura de 35-40°C (para evitar formación de emulsiones). Colocar un aireador de acuario y un difusor de burbujas. El burbujeo debe mantenerse como mínimo durante 24 horas, y luego media hora más de reposo (sin burbujas) para que el agua se hunda hasta el fondo. El agua queda blanca y el combustible con un color más claro que antes. Drenar el agua y repetir el lavado otras dos veces. Al final del lavado cambiarlo a otro recipiente cuidando de que toda el agua quede en el primer recipiente.

19. Después de tres semanas de reposo debe estar totalmente cristalino. Tomar una muestra en un frasco y colocarlo en la ventana para ver cómo se clarifica con el paso de los días. Puede usarse antes si se calienta hasta 45° C (113° F); cuando se enfría las impurezas sedimentan hasta el fondo.

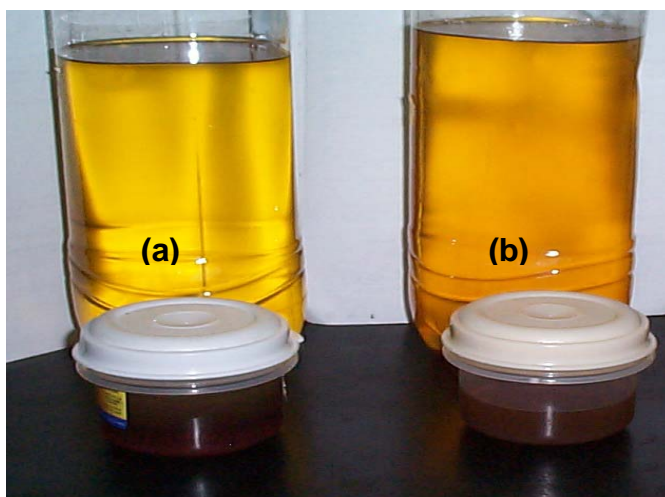


Figura 9-4: (a) Biodiesel de grasa de pollo; (b) biodiesel de aceite usado, junto con sus respectivas glicerinas³⁹.

c. CÁLCULOS Y RESULTADOS.

Los resultados obtenidos de la elaboración de biodiesel, aplicando el método ácido-base y su posterior lavado se presentan en el cuadro 9.7 y 9.8. Mostrando también el rendimiento del biodiesel obtenido, antes y después de ser lavado y la cantidad de glicerina obtenida (la glicerina es expresada en unidades de volumen).

Ejemplo de cálculo se muestra en anexo 5.6.

Para calcular el rendimiento la ecuación es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{W_{\text{producto}}}{W_{\text{muestra}}} * 100$$

³⁹ Foto tomada por Jessica Zelaya (octubre, 2006).

Donde:

Rendimiento = Gramos de producto obtenido por 100 gramos de muestra.

$W_{producto}$ = Gramos de producto obtenido.

$W_{muestra}$ = Gramos de muestra total.

Cuadro 9.7: Resultados de la elaboración experimental de biodiesel a partir de las muestras grasa de pollo y aceite usado de cocina⁴⁰.

Resultados	MUESTRA DE GRASA DE POLLO			MUESTRA DE ACEITE VEGETAL USADO		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Repeticiones						
Cantidad de muestra utilizada (gr.)	1496.68	1496.68	1496.68	1507.9	1507.9	1507.9
Cantidad de Biodiesel obtenido (gr.)	1468.8	1468.8	1425.6	1518.1	1428.8	1518.1
Rendimiento inicial de biodiesel (gr. De biodiesel / 100gr de grasa cocida)	98.14	98.14	95.25	100	94.75	100
Cantidad de glicerina obtenida (ml.)	160	60	230	35	40	40
Rendimiento de glicerina (% v/v)	9.41%	3.53%	13.53%	2.1%	2.35%	2.35%
Cantidad de Biodiesel lavado (gr.)	1036.8	1036.8	1036.8	893.0	714.4	893.0
Rendimiento final de biodiesel (gr. De biodiesel / 100gr de grasa cocida)	69.27	69.27	69.27	59.22	47.38	59.22
Rendimiento del biodiesel con respecto a grasa cruda, (gr. De biodiesel / 100gr de grasa cruda)	47.97	47.97	47.97			

Análisis realizados en planta piloto EIQ.

⁴⁰ Todos los Rendimientos están expresados en unidades de masa, a excepción del rendimiento de glicerina.

Cuadro 9.8: Resultados promedio de los principales productos de la reacción de Transesterificación.

Valores promedios	MUESTRA GRASA DE POLLO	MUESTRA DE ACEITE VEGETAL USADO
Rendimiento inicial de biodiesel, (gr. De biodiesel / 100gr de grasa cocida)	97.35	98.25
Rendimiento de glicerina ² (% v/v)	8.823	2.27
Rendimiento final de biodiesel, (gr. De biodiesel / 100gr de grasa cocida)	69.27	55.27
Rendimiento del biodiesel respecto grasa cruda ¹ (gr. De biodiesel / 100gr de grasa cruda)	47.97	

¹Solamente para metil ester de grasa de pollo.

²Expresado en unidades de volumen.

9.6 CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL ELABORADO.

En esta etapa fue necesario recurrir a los procedimientos que recomienda la norma ASTM D-6751, que suministraron un soporte técnico para dicha prueba. Los análisis realizados se describen a continuación:

9.6.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CETANO.

Esta prueba fue realizada, en el laboratorio de Minas e Hidrocarburos del Ministerio de Economía. Esta prueba servirá para estimar el valor del índice de cetano para cada muestra de biodiesel producido.

a. CALCULOS Y RESULTADOS:

Los resultados del índice de cetano se presentan en el cuadro 9.9. Debido a que esta es una propiedad importante en un combustible, fue necesaria su estimación, sin embargo estos resultados no son precisos puesto que en El Salvador aún no existe equipo adecuado para el análisis a un biocombustible,

conforme a la exigencia de la norma ASTM D-613. Pero servirá para dar una idea de la calidad del biocombustible experimental.

El reporte de resultados se presenta en anexo 5.7.

Cuadro 9.9: Valores del índice de Cetano de los metil ester de grasa de pollo y de aceite vegetal usado.

MEDICIÓN	METIL ESTER DE GRASA DE POLLO	METIL ESTER DE ACEITE VEGETAL USADO.
M1	26.9	33.3
M2	29.3	35.7
M3	29.5	35.8
VALOR PROMEDIO	28.57	34.93

Análisis realizado en los laboratorios de minas e hidrocarburos del ministerio de economía, (2006).

9.6.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA Y SEDIMENTOS.

La norma ASTM D- 2709 fue utilizada como una guía para generar este resultado, el método se realiza con ayuda de una centrífuga la cual separa el material sólido flotante y el agua que contiene. Este análisis fue realizado en el laboratorio de la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Tubos de Centrífuga de marca de 15 ml.

Gradilla.

Centrífuga.

Pipeta graduada de 25 ml.

Probetas graduadas de 250 ml.

Frasco lavador.

Fuente de calor (Hot Plate).

b. PROCEDIMIENTO:

1. Colocar 10 ml., de muestra metil ester de grasa de pollo y de aceite vegetal usado por duplicado en los tubos centrífuga (dos de cada uno); taparlos asegurándose que no existan fugas.
2. Agitar vigorosamente las muestras; para homogenizar y luego colocarlas en la centrífuga.
3. Con el diámetro del swing calcular la velocidad de rotación (revoluciones por minuto) a un rango de 500- 800 rfc. (en ingles: fuerza centrífuga relativa) dado por la tabla 2 de la norma ASTM D- 2709 Vol. 05.01.
4. Mantener la velocidad por 10 minutos.
5. Si no puede distinguirse el volumen separado de sólidos, repetir de nuevo el procedimiento.
6. Calcular el contenido de agua y sedimentos en % volumen de cada muestra y promediar.

La ecuación es la siguiente:

$$\%Volumen = \frac{V_{sólido}}{V_{total}} * 100\%$$

Donde:

$\%Volumen$ = Volumen de sólido por unidad de volumen de muestra.

$V_{sólido}$ = Mililitros del sólido ocupado en el tubo centrífuga.

V_{total} = Mililitros de la muestra.

c. CALCULOS Y RESULTADOS.

Los resultados de agua y sedimentos por el método de la centrífuga se presentan en el cuadro 9.10, para determinar si al final del proceso productivo no se ha eliminado el agua proveniente del proceso de lavado.

Cuadro 9.10: Contenido de agua y sedimentos de los metil esteres de grasa de pollo y de aceite vegetal usado.

	METIL ESTER DE GRASA DE POLLO	METIL ESTER DE ACEITE VEGETAL USADO
Volumen de muestra utilizado (ml.)	10.0	10.0
M1	No visible	No visible
M2	No visible	No visible
M3	No visible	No visible
M4	No visible	No visible
M5	No visible	No visible
M6	No visible	No visible
Contenido de agua y sedimentos (% v/v)	< 0.05% ¹	< 0.05% ¹

¹Por no presentar, un rango visible entonces se concluirá que el contenido de agua y sedimentos se encuentra dentro del rango que la norma ASTM D- 6751 exige; el cual es 0.05% como valor máximo.

9.6.3 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ÁCIDO.

La norma ASTM D-5555 sirvió de apoyo para determinar esta propiedad, ya que constituye una estimación de la acidez libre que el biodiesel contiene, según se expresa por la norma ASTM D-6751. Observándose de esta manera la reducción de los ácidos grasos libres iniciales, este análisis fue realizado en el laboratorio de la planta piloto de la escuela de Ingeniería Química.

a. MATERIAL Y EQUIPO

Bureta graduada de 50 ml.
Beaker de 100 ml.
Probeta graduada de 10 ml.
Probeta graduada de 250 ml.
Erlenmeyer de 250 ml.
Agitadores de vidrio.
Vidrio de reloj.
Balón volumétrico de 1000 ml.

Pipeta graduada de 10 ml.

Frasco lavador.

REACTIVOS

Solución de Hidróxido de sodio
0.1 N.
Alcohol etílico puro.
Solución de indicador de naranja
de metilo.

b. PROCEDIMIENTO:

1. Colocar 28.2 gr. De muestra en un erlenmeyer de 250 ml; agregar 50 ml. De etanol grado reactivo. Y agregar unas gotas de indicador de fenolftaleína. Agitar hasta que la muestra se haya disuelto completamente en el solvente.
2. Titular la muestra con la solución estandarizada de NaOH 0.1 N, hasta que la muestra cambie a color rosa. El color debe persistir por 5 segundos.
3. **BLANCO:** Preparar una muestra blanco, agregar 50 ml de etanol grado reactivo y añadir 3 gotas de indicador de fenolftaleína y titular con la solución de 0.1M de NaOH, el solvente de titulación, normalmente contiene impurezas ácidas, por lo que es necesario corregir los valores de la titulación.
4. **Cálculo de los ácidos grasos libres y del número base:** para realizar el cálculo la fórmula es la siguiente:

$$\% \text{Acidosgrasoslibres} = \frac{(A-B) * N * 28.2}{W_{muestra}} * 100\%$$

Para el número ácido sólo se multiplica el resultado por **1.99**

Donde:

A = mililitros gastados por la titulación de la muestra.

B = Solución requerida por titulación del blanco.

N = Normalidad de la solución de NaOH.

$W_{muestra}$ = Muestra usada en gramos.

c. CALCULOS Y RESULTADOS.

Estos resultados se muestran en el cuadro 9.11 utilizando el método de prueba ASTM D-5555, para aceites y grasas. Dado que básicamente el biodiesel es un combustible proveniente de materia orgánica, este método servirá para estimar el número ácido de los metil ester de grasa de pollo y de aceite vegetal usado. Ejemplo de cálculo se muestra en anexo 5.8.

Cuadro 9.11: Determinación del número ácido de los metil ester de grasa de pollo y aceite usado de cocina.

	METIL ESTER DE GRASA DE POLLO		METIL ESTER DE ACEITE VEGETAL USADO		
	M1	M2	M1	M2	M3
Cantidad de muestra (gr.)	28.2124	28.2377	28.2416	28.2263	28.2023
Cantidad de NaOH gastados en el blanco (ml).	0.3				
Volumen de NaOH gastados (ml.)	3.2	2.2	4.9	5.1	5.8
Valor de ácidos grasos libres (% AGL)	26.21%	17.1%	41.34%	43.16%	49.5%
Valor promedio de la acidez libre	21.66%		44.66%		
Número ácido (mg. KOH/gr.)	0.522	0.34	0.823	0.86	0.985
Promedio	0.431		0.89		

Análisis realizados en planta piloto EIQ.

9.6.4 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA.

Con la ayuda de la norma ASTM D – 445, se generaron estos valores, el proceso fue realizado por un viscosímetro de Ostwald y a temperatura ambiente debido a que no se contaba con un viscosímetro rotacional para muestras pequeñas. Esta prueba se realizó en el laboratorio de la planta piloto de la escuela de Ingeniería Química.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Viscosímetro de Ostwald.
Beakers de 100 ml.
Frasco lavador
Papel toalla

REACTIVOS:

Agua destilada
Alcohol etílico al 95%
Solución jabonosa

b. PROCEDIMIENTO:

1. Medir un volumen de 100 ml. de agua destilada y agregarlo al viscosímetro; luego eliminar una porción de este y medir el tiempo que tarda en recorrer la marca de aforo, realizar esta prueba 3 o 4 veces para calibrar el viscosímetro.
2. Cuando se ha medido el tiempo del líquido de referencia, entonces medir 100 ml. de muestra de biodiesel por duplicado, enjuagar el viscosímetro con la muestra de manera que se elimine el líquido de referencia; luego medir el tiempo que tarda en abandonar la marca de aforo, todo esto a temperatura ambiente y después realizar el cálculo siguiente:

$$\mu_1 = \frac{\rho_1 * \theta_1 * \mu_2}{\rho_2 \theta_2}$$

Donde:

μ_1 y μ_2 = Viscosidad en centipoise, del líquido de referencia (agua destilada) y la del biodiesel, respectivamente.

ρ_1 y ρ_2 = Densidad en gr. / cm³ del líquido de referencia (agua destilada) y la del biodiesel, respectivamente.

θ_1 y θ_2 = Tiempo en segundos, que tarda en abandonar las marcas de aforo del viscosímetro de Ostwald respectivamente.

c. CALCULOS Y RESULTADOS.

Estos resultados se muestran en el cuadro 9.12 y ejemplo de cálculo, se muestra en el anexo 5.9.

Cuadro 9.12: Viscosidades de las muestras de Metil Ester de grasa de pollo y aceite usado respectivamente.

Muestras y variables	Repeticiones		
	T1	T2	T3
Tiempo en seg. De Sustancia referencia (Agua destilada)	9.75	9.76	9.77
Tiempo promedio en seg.	9.76		
Viscosidad en cp. A 30°C ¹	0.8007		
BIODIESEL DE GRASA DE POLLO			
	T1	T2	
Tiempo en seg. De Biodiesel de grasa de pollo	60.47	60.47	
Viscosidad en cp.	4.4493	4.4493	
Viscosidad promedio en cp.	4.4493		
Viscosidad en mm ² /s a 30°C	5.1496524		
BIODIESEL DE ACEITE USADO DE COCINA			
	T1	T2	
Tiempo en seg. De Biodiesel de aceite usado.	223	232	
Viscosidad en cp.	16.408034	17.070242	
Viscosidad promedio en cp.	16.73914		
Viscosidad en mm ² /s a 30°C	18.744835		

Análisis realizado en Planta Piloto, EIQ;

¹valor obtenido teóricamente del libro de McCabe, Smith (1991).

9.6.5 DENSIDAD DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y DE ACEITE USADO.

Esta prueba se realizó con el método indirecto de relación de propiedades (masa y volumen). En el laboratorio de la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Beaker de 50 ml.

Balanza semi-analítica.

Fuente calorífica (HOT PLATE).

Termómetro (0-100°C).

b. PROCEDIMIENTO:

1. Medir la densidad de las muestras a temperatura ambiente. Si se dispone de un juego de picnómetros, cambiando los bulbos hasta encontrar el que flote a la superficie de la muestra; caso contrario llenar el beaker, a la marca de volumen y luego cuantificar su peso, la relación entre la masa y el volumen es la densidad de la muestra.
2. Para la medición de la densidad a una temperatura mayor, calentar la muestra en la fuente calorífica a una temperatura de 40°C y luego realizar lo mismo que en el paso 1.

La ecuación de la densidad es la siguiente:

$$\rho = m/V$$

Donde:

ρ = Densidad del aceite usado y/ o grasa de pollo.

m = Masa del volumen del aceite usado o grasa de pollo.

V = Volumen de la muestra, a analizar.

c. CALCULOS Y RESULTADOS

Para la medición de la densidad de los metil esteres de grasa de pollo y de aceite vegetal usado se ha tomado un volumen constante de 40 ml. Y a dos tipos de temperatura: a la ambiental y a una temperatura igual de 36°C; también se ha asumido que el peso del beaker no varía con la temperatura. Estos resultados se presentan en el cuadro 9.13.

Ejemplo de cálculo se muestra en anexo 5.10.

Cuadro 9.13: Determinación de densidades de los metil esteres de grasa de pollo y aceite vegetal usado.

	METIL ESTER DE GRASA DE POLLO			METIL ESTER DE ACEITE VEGETAL USADO		
Vcte = 40,0 cm ³	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Peso del beaker (gr.)	28,0415	30,7347	29,3864	29,1634	29,7342	30,3012
Temperatura ambiente de 27 °C						
Peso total (gr.)	63,715	64,364	63,817	64,5139	64,8573	67,042
Peso de la muestra (gr.)	35,6735	33,6293	34,4306	35,3505	35,1231	36,7408
densidad de la muestra (gr./cm ³) a 27 °C	0,892	0,841	0,861	0,884	0,880	0,920
densidad promedio (gr./cm ³)	0,864			0,893		
Temperatura de 36°C						
Peso total (gr.)	63,6626	64,345	63,8052	64,5555	64,7625	67,0075
Peso de la muestra (gr.)	35,6211	33,6103	34,4188	35,2921	35,0283	36,7063
densidad de la muestra (gr./cm ³) a 36 °C	0,891	0,840	0,860	0,882	0,876	0,920
densidad promedio (gr./cm ³)	0,864			0,893		

Fuente: Experimentación propia, Planta Piloto EIQ, (2006).

9.6.6 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.

Esta propiedad es de importancia en los combustibles, puesto que determina la cantidad de energía generada por cada gramo de combustible utilizado; y al comparar el poder calorífico del biodiesel con el poder calorífico del combustible fósil (diesel), se da por acertado que se evaluará, si el biodiesel de grasa de pollo y aceite usado poseen propiedades comparables con el diesel fósil (Arévalo, 2006).

La cuantificación de esta propiedad fue realizada en el laboratorio de la planta piloto de la escuela de Ingeniería Química.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Bomba calorimétrica completa con un sistema de ignición
Bureta de 25 ml
2 beakers de 50 ml
Soporte universal
Pinza para bureta
Tanque de oxígeno con regulador de presión
Frasco lavador

REACTIVOS:

Solución 0.0709N de carbonato de sodio (para hacer la corrección del ácido formado en la combustión)
Anaranjado de metilo
0.5gr de muestra de biodiesel
Agua Destilada

b. PROCEDIMIENTO:

NOTA IMPORTANTE:

La operación de la bomba tiene que hacerse con precaución debido al peligro de descarga eléctrica del sistema de ignición o explosión por la alta presión que tiene. Es importante:

- 1. Limpiar la bomba con cuidado para no dañar las gomas selladoras.**
- 2. Desconectar el sistema por completo al momento de montar y desmontar la bomba.**
- 3. No usar una presión mayor de 2533 KPa (25 atm). En el laboratorio se recomienda una presión de solo 20 atm.**
- 4. No hacer ignición si la bomba burbujea después de haberla sumergido en el agua.**
- 5. Seguir todas las instrucciones del técnico experto.**

1. Ensamblaje de la bomba y los periféricos

- a. Añada 2 litros de agua destilada al calorímetro.
- b. Corte 10 cm. del fusible Parr 45C10 provisto para el sistema de ignición.
- c. Coloque la muestra a analizar en el "porta muestras" de la bomba, con un peso entre 0.25 y 1 g.
- d. Conecte el alambre entre los dos conectores del sistema de ignición asegurando que hagan buen contacto y que apenas toquen la sustancia, evitando que toquen la cápsula porta muestra.
- e. Si va a hacer la corrección por ácido nítrico, añada 1 ml de agua destilada a la bomba.
- f. Ensamble la bomba con cuidado de no perder ni humedecer la sustancia.
- g. Verifique que las válvulas de seguridad estén cerradas y llene con oxígeno a una presión entre 30 y 40 atm. Su instructor o el técnico le indicarán el procedimiento.

- h. Sumerja la bomba en el agua del calorímetro y asegure de que no hay escape de gas. Conecte el sistema de ignición.
- i. Coloque el termómetro, cierre el calorímetro y conecte el agitador.

2. Combustión de la muestra

- a. Ajuste la temperatura del agua dentro del calorímetro dejando que la temperatura se estabilice por si misma agitando durante unos 5 minutos.
- b. Luego tome lecturas de Temperatura Vs. tiempo cada minuto por los próximos 5 minutos.
- c. Haga ignición manteniendo presionado el botón por 10 segundos y cerciórese que la luz indicadora del circuito encienda.
- d. Tome lecturas T Vs. t cada minuto observado que la temperatura suba a un valor máximo, registre las lecturas hasta que 5 valores continuos de temperatura permanezcan constantes (aprox. 15 min.). Si no observa ningún aumento en la temperatura hay algún problema con el sistema de ignición o con el montaje de la bomba.
- e. Al finalizar el experimento asegúrese de haber registrado todos los datos.

3. Desmantelamiento de la bomba

- a. Desconecte todas las conexiones eléctricas.
- b. Desmante las partes externas del calorímetro y abra la válvula de presión de la bomba de tal forma que el oxígeno se escape lentamente.
- c. Asegúrese que la combustión fue completa y que no queden residuos del compuesto que está analizando. Si está haciendo la corrección por

ácido nítrico, lave cuidadosamente con agua destilada todos los accesorios que retire de la bomba, así como la parte interior de esta. Colecte todos los pedazos de alambre que no se quemaron.

- d. Para la corrección por HNO_3 , titule la solución acuosa que colectó de la bomba con la solución básica provista, añada una o dos gotas de anaranjado de metilo como indicador. Mida el alambre que no se quemó.
- e. Descarte el agua del calorímetro. Lave y seque todas las partes del calorímetro cuidadosamente.

Las variables a determinar son las siguientes:

1. Datos a determinar para la bomba calorimétrica Parr 1341

A partir de modificaciones realizadas para la bomba calorimétrica marca Parr modelo 1341 los datos que deben estar disponibles para completar la prueba son los siguientes:

a = tiempo de ignición

b = tiempo (cercano a 0.1 min.) cuando la temperatura alcanza el 60% del incremento total

c = tiempo en comenzar el período (después del incremento de temperatura) en el cual la razón de temperatura pasa a ser constante

t_a = temperatura al tiempo de ignición, corregido para la escala de error del termómetro

t_c = temperatura al tiempo c , corregido para la escala de error del termómetro

r_1 = velocidad (unidades de temperatura por minuto) a la cual la temperatura estuvo incrementando durante el período de 5 minutos antes de la ignición

r_2 = velocidad (unidades de temperatura por minuto) a la cual la temperatura estuvo incrementando durante el período de 5 minutos después del tiempo c , r_2 es negativo y la cantidad $-r_2(c-b)$ se convierte en positiva y debe ser sumada cuando calcule la corrección para el incremento de temperatura

c_1 = mililitros de solución estándar del álcali usado en la titulación ácida

c_2 = porcentaje de azufre en la muestra

c_3 = centímetros de alambre fusible consumido en la ignición

W = energía equivalente de el calorímetro, determinada bajo estandarización

m = masa de muestra en gramos

Los valores a , b y c se obtienen a partir del gráfico de temperatura contra tiempo.

2. Incremento de temperatura

Calcule la corrección del incremento neto de temperatura para corregir los efectos de la no-adiabaticidad del instrumento, utilizando la siguiente ecuación de Dickinson:

$$t = tc - ta - r_1 (b - a) - r_2 (c - b)$$

3. Correcciones termoquímicas

Estos valores deben ser calculados para cada prueba.

e_1 = corrección en calorías para el calor de formación del ácido nítrico (NH_3), su valor es igual a c_1 si en la titulación fue usado un álcali 0.0709N.

e_2 = corrección en calorías para el calor de formación del ácido sulfúrico (H_2SO_4), su valor es igual a $13.7 \cdot c_2 \cdot m$

e_3 = corrección en calorías para el calor de combustión del fusible, su valor es igual a $2.3 \cdot c_3$ cuando se usa el fusible de níquel-cromo Parr 45C10 y es igual a $2.7 \cdot c_3$ cuando se usa el fusible de hierro calibrado No 34 B. & S.

4. Calor total de combustión

El calor total de combustión en calorías por gramo queda expresado de la siguiente manera:

$$H_g = \frac{t * W - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

c. CÁLCULOS Y RESULTADOS:

Estos valores se determinaron con un calorímetro modelo Parr 1341 presentándose en los cuadros 9.14 y 9.15, el cual muestra los cambios de temperatura, variables adicionales y el valor del poder calorífico respectivamente. Para los metil esterres de grasa de pollo y de aceite usado.

El ejemplo de cálculo y sus correspondientes gráficas se presentan en anexo 5.11

Cuadro 9.14: Incremento en la temperatura con respecto al tiempo, de las muestras de metil ester de grasa de pollo y aceite usado respectivamente.

METIL ESTER DE GRASA DE POLLO		METIL ESTER DE ACEITE USADO DE COCINA	
Tiempo (min.)	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	Temperatura (°C)
0	25,86	0	22,76
1	25,96	1	22,88
2	25,98	2	22,9
3	26	3	22,92
4	26	4	22,92
5	26	5	22,92
6	26	6	22,92
7	26	7	22,94
8	26	8	22,94
9	26	9	22,94
10	26	10	22,94
11	27,3	11	24,6
12	28	12	25,34
13	28,22	13	25,6
14	28,3	14	25,7
15	28,34	15	25,76
16	28,34	16	25,76
17	28,34	17	25,78
18	28,36	18	25,78
19	28,36	19	25,78
20	28,34	20	25,78
21	28,34	21	25,78
22	28,34		
23	28,34		
24	28,34		
25	28,34		

Análisis realizados en planta piloto, EIQ.

Cuadro 9.15: Resultados de las pruebas del poder calorífico de las muestras de biodiesel de grasa de pollo y aceite usado de cocina respectivamente.

VARIABLES ADICIONALES	METIL ESTER DE GRASA DE POLLO	METIL ESTER DE ACEITE USADO DE COCINA
ml. de CaCO ₃ gastados	9.25	9.75
Longitud sobrante de fusible Parr 45C10 en (cm.).	1.5	2.1
Muestra utilizada en (gr.)	0.551	0.686
Poder calorífico en cal/ gr.	10,453.661	10,107.5793
Poder calorífico en BTU/lb.	18,833.182	18,209.68

Fuente: experimentación propia en los laboratorios de la planta piloto EIQ.

9.7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL ELABORADO A NIVEL DE LABORATORIO.

Para las dos muestras de biodiesel elaborado experimentalmente (grasa de pollo y aceite usado), se realizó una comparación de las características determinadas a nivel de laboratorio con algunas de las propiedades establecidas por la norma ASTM D-6751 a fin de determinar la calidad del producto final obtenido a partir de las muestras seleccionadas (grasa de pollo y aceite usado de cocina en frituras).

En el cuadro 9.16, se muestra un resumen comparativo acerca de las propiedades cuantificadas con la norma ASTM D-6751 para las muestras de biodiesel elaborado.

Cuadro 9.16: Cuadro resumen de las propiedades físicas de las muestras de aceite y sus respectivos metil ester, para compararlas con la norma ASTM D-6751.

Propiedades	UNIDADES	NORMA ASTM D-6751 (BIODIESEL)	METIL ESTER DE ACEITE USADO	METIL ESTER DE GRASA DE POLLO.
DENSIDAD A TEMPERATURA AMBIENTE ⁴¹	<i>gr / cm³</i>	0.8469 ⁴²	0.893	0.864
AGUA Y SEDIMENTOS	%v/v	0.05% máximo.	< 0.05%	< 0.05%
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C	<i>mm² / seg.</i>	1.9 – 6.0	18.74484	5.149652
INDICE DE CETANO	-	47 mínimo	34.93	28.57
PODER CALORÍFICO ⁴¹	BTU/ lb.	19,652 ⁴²	18,209.68	18,833.182
NUMERO ACIDO	<i>mgKOH / gr</i>	0.80 máximo	0.890	0.431

El cuadro 9.16 muestra el resumen de las características de los metil ester de grasa de pollo y aceite usado, al comparar la densidad de los metil ester, con la densidad del diesel (0.8469 gr. / cm³ a temperatura de 25°C), resultan ser más pesadas, como resultante de largas cadenas de ácidos grasos libres.

El contenido de agua y sedimentos de los metil ester, clasifican dentro de la norma ya que ambas muestras presentan un valor menor a 0.05% el cual es descrito como un valor máximo para la norma ASTM D-6751.

La viscosidad del metil ester de grasa de pollo resultó ser de 5.15 mm²/s, encontrándose dentro de la norma la cual señala un rango de 1.9-6.0 mm²/s, lo que muestra que hubo una mayor conversión de los ácidos grasos libres y triglicéridos; mientras que el valor la viscosidad del metil ester de aceite usado que resultó ser de 18.74 mm²/s; indica que la conversión no fue la esperada, existiendo en solución ácidos grasos libres y triglicéridos no convertidos, a las condiciones de operación elaborado; por lo que es necesario reevaluar las condiciones de operación.

⁴¹ No determinado por norma ASTM D-6751.

⁴² Tomado de Cala, (1999), estos valores corresponden al diesel fósil a temperatura de 25°C.

Los valores del índice de cetano, para los metil esteres elaborados son menores a lo exigido por la norma (47 min.), el valor del metil ester de aceite usado resultó ser de 34.93 y el de metil ester de grasa de pollo fue de 28.57; no obstante, cabe señalar que estos datos fueron generados con metodología no recomendada por la norma ASTM D-6751, sino que se utilizó un medidor de ignición de diesel, por no contar en El Salvador con uno adecuado para el biodiesel.

En las muestras de metil esteres, el número ácido para el metil ester de aceite usado que fue de 0.890 (gr. de KOH/gr.), se encuentra ligeramente por fuera de la norma ASTM D-6751 que establece un valor de 0.80 (gr. de KOH/gr.) como máximo. Para el metil ester de grasa de pollo se obtuvo un valor de 0.431 (gr. de KOH/gr.) encontrándose dentro de esta clasificación por lo que existió una mayor conversión de ácidos grasos libres.

Los valores de la capacidad calorífica de los metil ester de grasa de pollo (18,833.182 BTU/lb. a 30°C) y aceite usado (18,209.68 a 30°C), se encuentran próximos al valor de la capacidad calorífica del diesel fósil que es de 19,652 BTU/lb. (a temperatura de 25°C), esto se debe a una mayor concentración de oxígeno en la cadena molecular; además este resultado, es un comprobante que el valor del índice de cetano se encuentra por encima de lo reportado con el método utilizado.

De las muestras de biodiesel que fueron elaboradas, el metil ester de grasa de pollo es el que se encuentra dentro de la norma ASTM D-6751; mientras que en el metil ester de aceite usado, se hacen necesario reevaluar las condiciones de operación.

9.7.1 ESTIMACION DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BODIESEL A PARTIR DE LA GRASA DE POLLO Y EL ACEITE VEGETAL USADO.

Ahora que se dispone de los rendimientos experimentales del biodiesel; la estimación anual del potencial de producción se calcula así:

$$P_S = \frac{R_M * C_E}{\rho_B}$$

Donde:

P_S = Potencial de sustitución anual

R_M = Rendimiento medio de la materia prima (grasa cruda de pollo y aceite usado)

C_E = Estimación anual de la materia prima en gramos.

ρ_B = Densidad del metil ester en gr. /cm³

Para la grasa cruda de pollo el potencial es el siguiente:

$$P_S = \frac{0.4797 * 8936.824 \times 10^6 \text{ gr}}{0.864 \text{ gr / cm}^3} = 4961800000 \text{ cm}^3 = 4961.8 \text{ m}^3 / \text{año de biodiesel.}$$

Para el aceite usado el potencial es el siguiente:

$$P_S = \frac{0.5527 * 11,046.4 \times 10^6 \text{ gr}}{0.893 \text{ gr / cm}^3} = 6836890000 \text{ cm}^3 = 6836.89 \text{ m}^3 / \text{año de biodiesel.}$$

El índice de sustitución anual, se calcula de la siguiente manera:

$$I_S = \frac{B_p}{D_f} * 100\%$$

Donde:

I_S = Índice de sustitución de la demanda anual del diesel fósil.

B_p = Producción anual del biodiesel para las materias primas en m³.

D_f = Demanda anual del diesel fósil (454,252.94m³; Badía S.E y Solano B.A, (2006))

En grasa de pollo:

$$I_S = \frac{4961.80 \text{ m}^3}{454,252.94 \text{ m}^3} * 100\% = 1.1\%$$

En aceite usado:

$$I_S = \frac{6836.89 \text{ m}^3}{454,252.94 \text{ m}^3} * 100\% = 1.5\%$$

Al sumar estas cantidades se tiene que: con estos materiales solamente puede sustituirse el **2.6%** de la demanda anual del diesel, esta cifra es bastante significativa; puesto que estos materiales se encuentran más disponibles, en contraposición con especies vegetales el cual se les destina para actividades diferentes de la actividad energética.

OBSERVACIONES

1. Las reservas mundiales de petróleo, están disminuyendo en una proporción de 5% por año, según como lo describe Salaverría, (2005), se afirma que ya se ha consumido el 50% de estas reservas, dando inicio a una producción en declive, dando como resultado un aumento en los precios, del crudo y de sus derivados. provocando así el aumento gradual de la crisis energética mundial.
2. Las energías renovables en especial la biomasa y los biocombustibles, están adquiriendo cada vez mayor prioridad, debido a la presencia de una nueva crisis energética. La importancia que se le da a los biocombustibles surgió después de la crisis energética sufrida en la década de 1970; desde ese tiempo hasta el 2007, estas investigaciones se encuentran con un alto grado de avance, en países como la Unión Europea, Estados Unidos, Suramérica entre otros.
3. Uno de los biocombustibles que ha adquirido mayor importancia, en el mundo es el Biodiesel, por ser un combustible sustituto del Diesel de Petróleo, con amplios beneficios medioambientales y económicos. Se encuentra hasta esta fecha comercializado en la mayoría de los Países de la Unión Europea, y en etapa de investigación y desarrollo en países como El Salvador.
4. Es importante destacar que pese a los grandes beneficios medioambientales y económicos que el biodiesel presenta, siempre permanecen presente las desventajas que complican el uso prologado de este biocombustible, como por ejemplo la generación de glicerina el cual puede acarrear problemas ambientales y económicos al no disponer adecuadamente de su uso, actualmente se está desarrollando la ampliación de aplicación de este subproducto para evitar que el mercado sea abarrotado y por consiguiente decline el precio de este producto. Entre otras de sus desventajas se encuentra que los empaques son totalmente incompatibles con el biodiesel provocando que estos se desgasten a medida que

pasa el tiempo, aparte que también posee poca durabilidad ya que en seis meses como máximo se está venciendo el biocombustible biodiesel.

5. Con respecto a las experimentaciones realizadas, los aceites usados y las grasas residuales (vacuno, porcino, aves) constituyen una fuente potencial de producción de biodiesel, sin embargo es de tener presente que estos materiales por su naturaleza contienen una mayor concentración de ácidos grasos libres, lo que disminuiría el rendimiento de la reacción si no se emplea un método adecuado, se ha observado que una manera adecuada de disponer de ellos en la elaboración de biodiesel es en el método ácido – base, el cual aprovecha todos los ácidos grasos libre en la primera etapa.
6. La extracción realizada fue a partir de cocción, sin embargo, la extracción puede realizarse también por vía mecánica y luego debe ser eliminado el contenido de humedad mediante la adición de calor.
7. Se considera que la operación de lavado de los metil esteres del biodiesel, da lugar a pérdidas del producto obtenido, influyendo en rendimiento del proceso.
8. Finalmente se ha logrado comprobar que si es posible producir biodiesel a partir de estos materiales, siendo necesario profundizar en la investigación y optimización del proceso para lograr el máximo beneficio.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento extracción de la grasa de pollo por el método de cocción, resultó ser de 69.24%, con este método se elimina al mismo tiempo la humedad de la grasa cruda, cuya presencia en la materia prima da lugar reacciones de saponificación no deseables en la producción de biodiesel.
2. La humedad presente en la grasa cruda de pollo resultó ser de 79.44% peso, lo que facilitó el proceso de extracción de la grasa sin necesidad de adicionar más agua, y que a su vez se eliminó por efectos de la misma cocción, mostrando al final de la cocción una coloración parda (totalmente frito con su propia grasa).
3. Al caracterizar las materias primas seleccionadas, grasa de pollo extraída por cocción y aceite usado de cocina, presentaron valores aceptables del contenido de sólidos, en ambos casos no mayores 1%; al igual no se detectó contenido de humedad en ambas muestras (realizado por arrastre de Tolueno).
4. Se seleccionó el método de transesterificación ácido-base, para la conversión a biodiesel, debido a que las muestras de grasa de pollo extraída y de aceite usado, mostraron valores de ácidos grasos libres de 60.21% y 80.55%, respectivamente; clasificándose como materiales de elevada acidez. La aplicación del método seleccionado, evita las reacciones secundarias de saponificación al utilizar estos materiales.
5. El rendimiento producción de metil ester de aceite usado fue del 55.27%, resultando ser menor que el del metil ester de grasa de pollo cuyo valor fue de 69.27%. Por lo que, a las condiciones de operación trabajadas, la conversión a metil ester es fue mayor en la grasa de pollo que en el aceite usado.

6. La caracterización del metil ester de grasa de pollo resultó estar dentro de las especificaciones de los parámetros de calidad de biodiesel que presentan las normativas existentes. Así se tiene que al comparar con la norma ASTM D-6751, los resultados fueron: agua y sedimentos: menor al 0.05%, viscosidad cinemática: 5.1496mm²/s, número ácido: 0.431(gr. de KOH/gr.)
7. En la caracterización del metil ester de aceite usado se encontró que la viscosidad 18.745 mm²/s, del mismo estaba fuera de la norma ASTM.6751. Puede ser el resultado de la presencia de triglicéridos remanentes, por una baja conversión en las condiciones de operación trabajada. El resto de las características evaluadas si estaban dentro de la norma los cuales fueron: agua y sedimentos: menor al 0.05%, número ácido: 0.89 (gr. de KOH/gr.). Un combustible de alta viscosidad resulta ser de alto riesgo (peligro de obstrucciones), en los motores que se usen.
8. A las condiciones de operación trabajadas (tiempos y concentraciones), se logró un mejor rendimiento y características del producto final dentro de la norma, para la grasa de pollo, por lo que se considera que deben optimizarse las condiciones para el aceite usado.
9. En la determinación del poder calorífico, se obtuvo para el metil ester de grasa de pollo un valor de 18,833.182 BTU/lb. (a 30°C) y para el metil ester de aceite usado un valor de 18,209.68BTU/lb. (a 30°C), lo que demuestra que el biodiesel obtenido es de un poder calorífico similar al del diesel fósil cuyo valor es de 19,652 BTU/lb. (a 25°C), con un porcentaje de diferencia de 4.16% para el metil ester de grasa de pollo y 7.34% para el metil ester de aceite vegetal usado, resultando más cercano el biodiesel de grasa de pollo.
10. El índice de cetano del metil ester de grasa de pollo resultó ser de 28.57 y para el metil ester de aceite usado de 34.93, quedando por fuera de lo que especifica la norma ASTM D-6751(47 min.). Sin embargo, debe resaltarse que esta característica se determinó con procedimiento específico para diesel fósil y no con el método que

la norma exige, por lo que se considera que los valores reportados se aproximan a los reales.

11. Se encontró que para El Salvador, la disponibilidad anual de grasa de pollo es de **8,936.824TM** y de aceite usado de cocina es de **11,046.4TM**; los que podrían utilizarse para producir biodiesel.
12. La estimación del potencial de producción anual de biodiesel indica, que para las especies vegetales se producirían **22,367.9 m³** de biodiesel; en los materiales grasos residuales las cantidades que se estimaron fueron: **4961.8 m³** para la grasa cruda de pollo y **6836.89 m³** para el aceite vegetal usado, dando un total de **11,798.7 m³** para los materiales grasos residuales. Puede observarse que el potencial de producción en las especies vegetales es mayor; sin embargo, actualmente poseen aplicaciones diferentes al de cultivo energético. Estimando para una planta productora que trabaje 300 días al año, se tendría materia prima disponible para producir **40m³/día** (40,000 Lt/día o 10,567 GAL/día) de biodiesel, la cual trabajaría con materiales grasos residuales (grasa de pollo y aceite usado de cocina).
13. El índice de sustitución del combustible diesel; estimado en las especies vegetales fue de 4.92% y en los materiales grasos residuales se obtuvo un valor de: 1.1% en grasa cruda de pollo y 1.5% en aceite vegetal usado; que da un total de 2.6% para los materiales grasos residuales.

RECOMENDACIONES.

1. Es importante que El Salvador, se adentre en investigación de biodiesel, dado que en el extranjero las investigaciones con respecto al mismo avanzan rápidamente y esperar que otros realicen investigaciones para posteriormente importarla; no resulta conveniente para El Salvador ya que no se cuenta con una adecuada información acerca de las condiciones en las que se encuentra el país.
2. Se deben cuantificar los materiales de desecho en la producción de biodiesel, ya que de esta manera se contará con una base de información acerca de los principales contaminantes que El Salvador presenta, y a cuales de ellos puede dárseles un tratamiento o incluso una reutilización del mismo (transformación en otro producto de utilidad).
3. Es necesario realizar el pre-tratamiento de los materiales grasos residuales, puesto que estas impurezas pueden disminuir el rendimiento de elaboración.
4. Al realizar el método ácido base, es importante seguir al pie de la letra el proceso, ya que es un proceso complejo y elaborado y un pequeño error puede disminuir aun más el rendimiento de la reacción.
5. En la operación de lavado, es importante que el agua se encuentre a una temperatura de 35 - 40°C, para evitar formación de emulsiones y el agitado no sea muy violento, al final de esta operación se debe dejar reposar para que sedimenten las partículas contaminantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- **Arévalo M.M.F, (2006). “LABORATORIO N°4: MANEJO DE LA BOMBA CALORIMÉTRICA PARA DETERMINAR EL CALOR DE COMBUSTION”**, material didáctico de fisicoquímica I, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.

- **ASTM, (2003). “ESPECIFICACIONES ESTANDAR DEL COMBUSTIBLE BIODIESEL”**. American Society for Test and Materials (ASTM), Annual book ASTM STANDARDS, VOL05.02. United State.

- **AYRES, G.H., (1970). “ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO”**. 1ª EDICION, EDITORIAL HARLA S.A. DE CV MÉXICO DF.

- **Badía S.E y Solano B. A. (2006). “SITUACIÓN DE LA ENERGIA EN EI SALVADOR. LOS CASOS DEL ALCOHOL CARBURENTE Y DEL BIODIESEL. Una visión académica nacional”**, vicerrectoría de investigación, Universidad Tecnológica de El Salvador. El Salvador.

- **Charpentier O, Cruz A. C.W y Loría S, (2006). “PRIMER INFORME TÉCNICO: PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN Y USO DEL BIODIESEL”**, Comisión Técnica De Trabajo Para El Estudio Del Biodiesel, Ministerio Del Medio Ambiente Y De Energía, Costa Rica.

- **CE, (2006). “EUROPA ESTUDIA EL USO DE LOS BIOCMBUSTIBLES”**; COMISION EUROPEA (CE), Bruselas Bélgica, Fecha de Consulta.

- **CEMITEC, (2006). “CARACTERIZACIÓN DEL BIODIESEL PRINCIPALES PARÁMETROS DE CALIDAD”**, Centro Multidisciplinar de Innovación y Tecnología de Navarra (CEMITEC), España.

- **CENTA, (1995), “GUIA TÉCNICA DEL CULTIVO DE AJONJOLÍ”**, Centro Nacional de Transformación Agraria, El Salvador.

- **CENTA, (2005), “GUIA TÉCNICA DEL CULTIVO DE ALGODÓN”,** Centro Nacional de Transformación Agraria, El Salvador.
- **CENTA, (2001), “GUIA TÉCNICA DEL CULTIVO DE HIGURERILLO”,** Centro Nacional de Transformación Agraria, El Salvador.
- **CENTA, (1995), “GUIA TÉCNICA DEL CULTIVO DE MANI”,** Centro Nacional de Transformación Agraria, El Salvador.
- **CENTA, (1995), “GUIA TÉCNICA DEL CULTIVO DE SOYA”,** Centro Nacional de Transformación Agraria, El Salvador.
- **CITME, (2006). “BIOCARBURANTES LIQUIDOS: BIODIESEL Y BIOETANOL”,** Equipo de la Universidad Rey Juan Carlos del Circulo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía, (CITME), España.
- **CNPML, (2002). “PRIORIZACIÓN DE LA INDUSTRIA DE PROCESO EN EL SALVADOR”,** Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNPML), El Salvador.
- **CSD- GEOKLOCK, (2005). “Biodiesel, Energía renovable y aspecto social para Brasil”,** Geología e ingeniería ambiental, Ltda., Brasil.
- **Dalla C. B. O, Pizarrello, M.L. y Querini C.A, (2004). “PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL: USO DE MATERIAS PRIMAS ALTERNATIVAS Y DE ALTA ACIDEZ”,** Instituto de Investigación en Catálisis y Petroquímica (INCAPE), Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química Santa Fe, Argentina.
- **Del Cid, (1980). “CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y NUTRICIONALES DEL ACEITE DE SEMILLA DE MORRO”,** tesis de la Universidad de Antigua Guatemala, Guatemala 1980.
- **DGEA-MAG, (1995 – 2004), “ANUARIO DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS”,** Dirección General de Estadística Agraria, El Salvador.
- **DGEA-MAG, (2005), “EL CULTIVO DEL ALGODÓN”,** Dirección General de Estadística Agraria, estudio técnico. El Salvador.

- **DMA-UDB, (2004).** “ESTUDIO PARA LA EVALUACION MERCADOLOGICA DE LOS DESECHOS INDUSTRIALES”, Departamento de Medio Ambiente, Universidad Don Bosco (DMA). El Salvador.
- **García E. y Guzmán J.R., (1994).** “RECUPERACION DE GRASAS RESIDUALES DE TENERIAS Y SU USO INDUSTRIAL”, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, trabajo de graduación, El Salvador.
- **IICA-MAG, (2001).** “GUIA TÉCNICA DEL CULTIVO DEL COCO”, INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. El Salvador.
- **Laguna J, (1979).** “BIOQUÍMICA”, 3ª edición, prensa médica mexicana, México.
- **López G. D., (2005).** “BIODIESEL: PERFILES DE NEGOCIOS”, Red Ecyted, Santa Fe Argentina. Fecha de Consulta: Octubre de 2005.
- **MARN, (2000).** “PRIMERA COMUNICACIÓN NACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO”, Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales, República de El Salvador.
- **McCabe W. L, Smith, J.C Y Harriot, P. (1991),** “OPERACIONES BÁSICAS DE INGENIERIA QUÍMICA”. Cuarta edición, Mc Graww – Hill/Interamericana de España.
- **MINEC, (2002).** “ENCUESTAS ECONOMICAS NACIONALES DE PRODUCCION INDUSTRIAL”, Ministerio de Economía, República de El Salvador.
- **MINEC, (2005).** “DATOS SOBRE IMPORTACION Y EXPORTACION DE ACEITES Y GRASAS”, Ministerio de Economía, República de El Salvador.
- **NREL, (2004).** “BIODIESEL PRODUCTION, TECHNOLOGY”, National Renewable Energy Laboratory (NREL), DEPARTMENT OF ENERGY OF UNITED STATE, Estados Unidos.

- **OPE – MAG, (2003). “INFORMES SOBRE CAFTA: Nueces, Ajonjolí y Aceite Vegetales y Soja”**, OFICINA DE POLITICAS Y ESTRATEGIAS, DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA (OPE – MAG). El Salvador.
- **Rico Peña, D. C, (2003). “INTRODUCCIÓN A LA BIOQUÍMICA GENERAL”**, material didáctico de química industrial, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.
- **Rico Peña, D. C, (2005). “ENERGIA Y FUENTES RENOVABLES Y NO RENOVABLES”**, material didáctico de Aprovechamiento Industrial de recursos naturales, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.
- **Rosa H, Herrador D. y Cuéllar N, (1998). “CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y REVEGETACION NACIONAL: RETOS Y OPORTUNIDADES”**, Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA), El Salvador.
- **Tomaselli I. y Cuéllar N., (2004). “INFORME NACIONAL EL SALVADOR 2000-2020”** Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente (PRISMA), El Salvador.
- **Stratta, J. (2000). “BIOCOMBUSTIBLES: LOS ACEITES VEGETALES COMO CONSTITUYENTES PRINCIPALES DEL BIODIESEL”**, Investigación y Desarrollo-Departamento de Capacitación y Desarrollo de Mercado, Argentina.
- **Salaverría M. E, (2005). “BORRADOR DE PROPUESTA DE UN PLAN HEMISFERICO DE BIOENERGIA Y BIODIESEL EN EL CONTINENTE”**, Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador.
- **Ugolini J., (2000). “BIODIESEL: Proyecto para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel”**, provincia de Santa Fe, Argentina.
- **UNI, (1997). “SISTEMA AGROINDUSTRIAL DEL CULTIVO DEL TEMPATE; PRODUCCIÓN DE ESTER METÁLICO DEL TEMPATE COMO SUSTITUTO DEL COMBUSTIBLE DIESEL”**, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA con el auspicio del Gobierno de Austria, Nicaragua.

REFERENCIAS ELECTRONICAS:

- **Addison K., (2005). “HAZ TU PROPIO BODIESEL”**, http://journeytoforever.org/es/biodiesel_fabricar.html; Japón, Fecha de Consulta: Mayo de 2006.
- **Alfindustries, (2005). “BODIESEL EL AMBIENTE Y LA SEGURIDAD”**, **Alternative Liquid fuel Industries, L.L.C**, http://www.alfindustries.com/alf_032.htm; United State, Fecha de Consulta: Junio de 2006.
- **ArgenBio, (2004). “LOS BIOCOMBUSTIBLES”**, <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>; Argentina, Fecha de Consulta: Marzo 2004.
- **Biodiesel – Uruguay, (2006). “EcoDIESEL: LA MAYOR PLANTA PRODUCTORA DE BODIESEL DEL URUGUAY”**, <http://www.biodiesel-uruguay.com>; Uruguay, Fecha de consulta: Junio de 2006.
- **Boyan y Peder, (2004).”Potencial de producción de biocombustibles en los países candidatos a la Unión Europea”**, http://www.jrc.es/home/report/report_main_es.html, Comisión Europea, Unión Europea, fecha de consulta, noviembre de 2005.
- **Cala H.D.F, (1999). “PRODUCCION DE BODIESEL COMBUSTIBLE AUTOMOTRIZ A PARTIR DE ACEITES VEGETALES”**, <http://www.corpodib.com/estudios2.htm>, Bogotá, Colombia, Suramérica, fecha de consulta: enero de 2007.
- **CNPML, (2006). “BIOMASA ENERGETICA: UN CONCEPTO RELACIONADO CON LA PRODUCCIÓN MAS LIMPIA”**, Centro Nacional de Producción Mas Limpia (CNPML), <http://www.camagro.com/cnpml>, fecha de consulta: noviembre de 2006.
- **CTTEB, (2006). “PRIMER INFORME TÉCNICO: PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCIÓN Y USO DEL BODIESEL”**, <http://www.olade.org.ec/biocombustibles/Documents/PDF-21-2.pdf>; Comisión Técnica de Trabajo para el Estudio del Biodiesel, Costa Rica, Fecha de Consulta: Junio de 2006.

- **Eco2site, (2004). “BIODIESEL EN EL MUNDO”**; Artículo de Internet, <http://www.Eco2site.com>; Argentina.

- **ECOPETROL, (2005). “ESTADISTICAS DE LA INDUSTRIAL PETROLERA, 2005”**, ECOPETROL, S.A., <http://www.olade.ecopetrol.com.co/especiales/estadisticas2005/index.htm>, Colombia.

- **EUFIC, (2005), “LO BASICO SOBRE GRASAS”**. http://www.eufic.org/sp/quickfact/fats_chapter.htm#1 ; Argentina, Fecha de Consulta: Diciembre de 2005.

- **Ganuzo C. G, (2000). “LOS LÍPIDOS O GRASAS”**. <http://www.opolanco.es/Apat/Boletin15/lipidos.htm><http://www.opolanco.es/Apat/Boletin15/lipidos.htm>; España. Fecha de Consulta: Enero, 2006.

- **Hernández C. G, (2001). “MITOS Y VERDADES DE LOS LÍPIDOS”**, Universidad Tecnológica de la Mixteca, carlosh@mixteco.utm.mx, México, Fecha de Consulta: Febrero 2006.

- **IEA BIOENERGY, (2003), “BIOMASS AND BIOENERGY BENEFITS AND DEFINITION”**, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, <http://www.aboutbioenergy.info>, UNION EUROPEA, fecha de consulta diciembre de 2006.

- **IICA, El Salvador (2006). “PROGRAMA NACIONAL DE FRUTAS Y OLEAGINOSAS”**, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, (IICA). <http://iica.org.sv>, El Salvador, fecha de consulta: diciembre de 2006.

- **INIAU, (2003). “PROYECTO: EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE MATERIAS PRIMAS (PRODUCTOS, SUBPRODUCTOS Y DESCARTES), DE ORIGEN AGROPECUARIO PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIESEL EN MINI PLANTAS INTEGRADAS”**. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay, http://www.inia.org.uy/gras/cc_cg/biocombustibles/proyecto_biodiesel_INIA-GRAS.pdf#search='antecedentes%20del%20biodiesel'; Uruguay, Fecha de Consulta: Enero 2006.

- **Journeytoforever, (2001). “AGUACATE”**
<http://journeytoforever.org/energiaweb/aguacate.htm>;
<http://www.ramirez.8m.net/aceite.htm>, Japón, Fecha de Consulta: Marzo 2005.

- **Kac A., (2005). “METODO ACIDO BASE PARA PRODUCIR BODIESEL”**,
http://journeytoforever.org/es/biodiesel_aleksnueva.html#easymeth; Japón; Fecha de Consulta: Mayo de 2006.

- **laprensagráfica.com, (2007). “ANTONIO SACA INAUGURA PRIMERA PLANTA DE BODIESEL”**, <http://www.laprensa.com.sv>; El Salvador; Fecha de consulta: Abril de 2007.

- **Larosa, R .J., (2001). “PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE BODIESEL”**,
http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/bodie_lar/bodie_lar.htm; Argentina, Fecha de Consulta: Octubre 2005.

- **Marroquín, L .A., (2005). “ARTICULO DE PERIODICO: SE PRODUCIRÁ ETANOL PARA MEZCLARLO CON GASOLINAS”**. Periódico Digital La Prensa Gráfica,
<http://archive.laprensa.com.sv/20050418/economia/176605.asp>; El Salvador, Fecha de Consulta: Diciembre 2005.

- **Martínez, (2004). “BIOCARBURANTES: ALGUNAS CONSIDERACIONES”**,
<http://www.monografias.com/trabajos14/biocarburantes/biocarburantes.shtml>, España. Fecha de Consulta: julio de 2006.

- **Milliarum, (2004). “BIOMASA: INTRODUCCION”**,
http://www.milliarum.com/monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Welcome.asp, España, Fecha de Consulta: Julio, 2006.

- **Notimex, (2006). “PRODUCIRA EL SALVADOR BODIESEL A TRAVES DE PLANTA HIGUERILLO”**, <http://espanol.news.yahoo.com/060202/4/16uyv.html>; México, Junio de 2006.

- **PI. P, (2006). “plant picture”**, buscador de imagines de google,
<http://image.google.es/imghp?hl=es>., website, fecha de consulta: noviembre de 2006.

- **PLASENCIA, A., (2005).** “ARTICULO DE PERIODICO: PRODUCIRÁN NUEVO COMBUSTIBLE PARA VEHÍCULOS DE MOTOR EN RD”. Periódico Hoy Digital, [http://www.hoy.com.do/\(ypypxibqv2ajztq41ihjcv55\)/app/article.aspx?id=2143](http://www.hoy.com.do/(ypypxibqv2ajztq41ihjcv55)/app/article.aspx?id=2143); República Dominicana, Fecha de Consulta: Diciembre 2005.

- **PROBST, O., (2001).** “ENERGIA: EL BIODIESEL COMO ALTERNATIVA LIMPIA Y RENOVABLE PARA EL TRANSPORTE”. tecnológico de Monterrey revista virtual Número 56 <http://www.mty.itesm.mx./die/ddre/transferecia/56/hom.html>; México, Fecha de Consulta: Enero 2006.

- **Solvia, (2004).** “DATOS TÉCNICOS DEL BIODIESEL”, <http://eureka.ya.com/solvia/aplicaciones/Biodiesel.htm>; Argentina, Fecha de Consulta: Junio de 2006

- **Starmedia, (2005).** “ANÁLISIS DE GRASAS”. http://orbita.starmedia.com/tecnologiaalimentos/analisis_grasas.htm, México, Fecha de Consulta: Diciembre de 2005.

- **TecnoAmbiente, (2004).** “LAS ENERGIAS DEL FUTURO”; revista de edición única. página 21, Editorial Alejandría, El Salvador – Guatemala. Fecha de Consulta: Octubre de 2004.

- **Textoscientíficos, (2006).** “BIOGAS”. <http://www.textoscientificos.com/energia>; fecha de consulta: agosto de 2006.

- **Wanadoo, (1998).** “ACEITES VEGETALES”, http://html.rincondelvago.com/aceites_y_grasas.htm, España, Fecha de Consulta: Enero de 2006.

- **Wanadoo, (2003).** “BIODIESEL, energías alternativas”, <http://html.rincondelvago.com/biodiesel.htm>, España, fecha de consulta: marzo de 2006.

ANEXOS

ANEXO 1.0: ESQUEMA DE FUENTES DE ENERGÍA ALTERNATIVA.



Geotérmica

Se genera por el calor producido en la corteza y el manto superior de la tierra, su principal fuente es el vapor o agua caliente que se encuentra al interior de la tierra.



Hidráulica

Se genera por la caída de agua a una cierta altura, que provoca el movimiento de turbinas, que generan energía eléctrica.



Oceánica

Energía obtenida por cuatro tipos: Mareas; Olas; Corrientes; Gradiente térmico.
Para obtener energía eléctrica.

Fuente: TecnoAmbiente, (2004).



Eólica:

Es el aprovechamiento de la velocidad del viento, para la generación de electricidad.



Energía solar:

Aprovechamiento de la radiación solar para la producción de electricidad, y generación de calor.



Biomasa

Se genera por la materia orgánica producida en un área determinada de la superficie terrestre, ya sea por quema directa o por procesos de conversión a partir de ella.

Fuente: TecnoAmbiente, (2004).

ANEXO 1.1: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, DE LAS EMISIONES PROVENIENTES DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DEL PETRÓLEO.

El cambio climático es un fenómeno causado a partir de las actividades humanas comunes, como son la quema de combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas, la destrucción de los bosques, son las principales fuentes actuales de emisión de CO₂ a la atmósfera. La generación de energía es la actividad que más combustibles fósiles consume en el mundo, provocando un aumento en la concentración de estos gases a la atmósfera y por consecuencia, un aumento gradual en la temperatura de la superficie terrestre.

En el salvador, se dispone de información sobre emisiones gaseosas que datan del año de 1994, mostrado en el cuadro A.1.1, el cual deja evidencia clara acerca de la actividad que más genera gases contaminares a la atmósfera terrestre (MARN, 2000).

Cuadro A.1.1: Emisión anual neta de los principales gases efecto invernadero en El Salvador, año de referencia: 1994 (MARN, 2000).

	GASES				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	NO _x
Emisión anual neta (Gg)	8664.94	148.5	13.21	512.66	34.02
Sectores					
Energía	4224.18	18.09	0.52	437.48	31.03
Procesos Industriales	490.12				
Agricultura		88.14	13.69	70.65	2.86
Cambio en el uso del suelo y silvicultura	3930.64	0.52	3.6x10 ⁻³	4.53	0.13
Desechos		41.75			

La velocidad de aumento en la temperatura promedio de la tierra, ha sido muy acelerado a finales del siglo XX. Siendo los años más calientes en el período de 1980-1997, cuando se observaron las temperaturas más elevadas registradas hasta la fecha.

La figura A1.1, muestra la velocidad con la que cambia la temperatura promedio de la tierra, constituyendo un peligro potencial en el medio ambiente (Rosa, Herrador y Cuéllar, 1998).

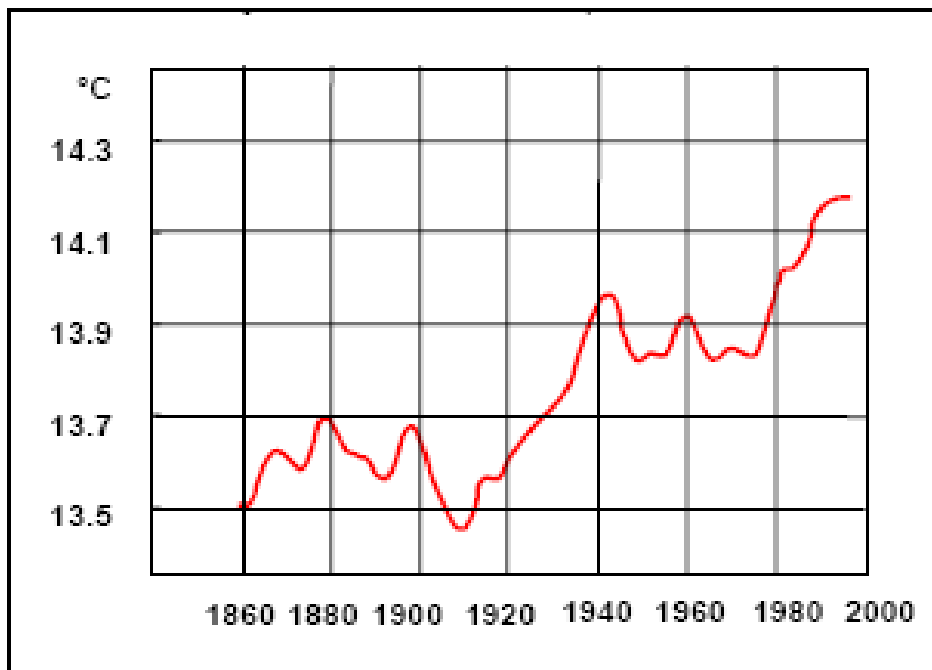


Fig. A-1.1: Temperaturas promedio en la superficie de la tierra, 1860-1997, (Rosa, Herrador y Cuéllar, 1998).

Debido a esta problemática, La Cumbre de Kyoto en Diciembre de 1997, que fue la mayor conferencia sobre cambio climático que se celebró en esa época.

El resultado más importante de la cumbre que reunió 160 países, entre ellos El Salvador, fue la adopción de un protocolo que compromete a la mayor parte de los países desarrollados para reducir las emisiones de los principales gases de invernadero. En el cual el primer período de cumplimiento es 2008-2012 y el año de referencia para las metas de reducción es el año 1990 (Rosa, Herrador y Cuéllar, 1998).

ANEXO 2.0: CONSUMO MUNDIAL DE FUENTES ENERGÉTICAS PARA EL AÑO 2002⁴³.

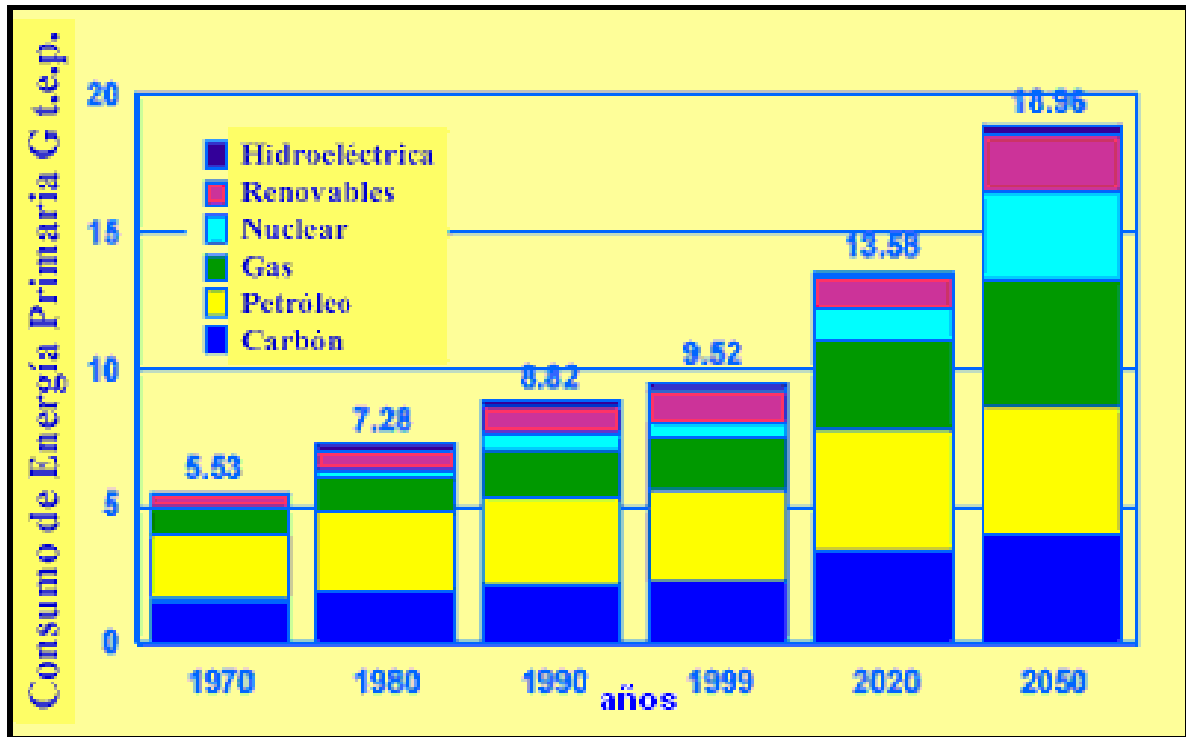


Figura A-2.1: Proyección del crecimiento de la demanda energética mundial para el año 2002, (Martínez, 2004).

Según Martínez, (2004), el consumo mundial de los combustibles principales descritos en esta gráfica; se verán incrementados en la primera mitad del siglo; también sugiere que la mejor fuente de energía alternativa, **es la de ahorro de la energía**. Los valores mostrados están determinados por el consumo de energía primaria, las unidades de medición están basadas en G t.e.p, refiriéndose como giga tonelada equivalente de petróleo.

Como puede observarse las energías renovables, la demanda se verá incrementada a medida que aumente la demanda de energía en el mundo para poder suplir estas necesidades.

⁴³ Nota: Martínez, (2004), hace referencia que esta gráfica se obtuvo a partir del estudio realizado en la universidad de Delf, Holanda como una preocupación a la contaminación ambiental.

ANEXO 2.1: RETROSPECTIVA DE LA RESERVA MUNDIAL DEL PETRÓLEO 1995 - 2005 (mil millones de barriles)⁴⁴.

REGIONES	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
MEDIO ORIENTE	661.46	672.17	672.81	673.83	674.8	691.0	695.31	728.93	733.91	738.22	742.71
EUROPA Y ASIA	81.5	82.64	87.8	110.62	113.47	114.12	132.58	135.86	139.47	138.68	140.53
NORTEAMÉRICA	89.04	89.27	89.03	72.07	76.23	75.63	73.68	65.48	62.19	60.6	59.47
SURAMERICA Y CENTROAMERICA	83.81	90.8	93.49	95.6	97.85	97.91	98.86	100.17	100.2	102.99	103.5
AFRICA	71.95	74.93	75.26	77.17	84.72	93.39	96.81	101.74	112.27	113.76	114.27
ASIA PACÍFICO	39.2	39.11	40.23	41.1	42.43	42.6	43.24	40.69	40.07	39.83	40.22

⁴⁴ Toda la información de este anexo pertenece a la fuente: ECOPELROL, (2005).

En esta figura, se describe la retrospectiva de la reserva mundial del petróleo, puede observarse que Asia Pacífico y Norteamérica han sufrido una disminución, no muy sensible, mientras que en los demás países, sus reservas se han mantenido constantes, desde el año 2001.

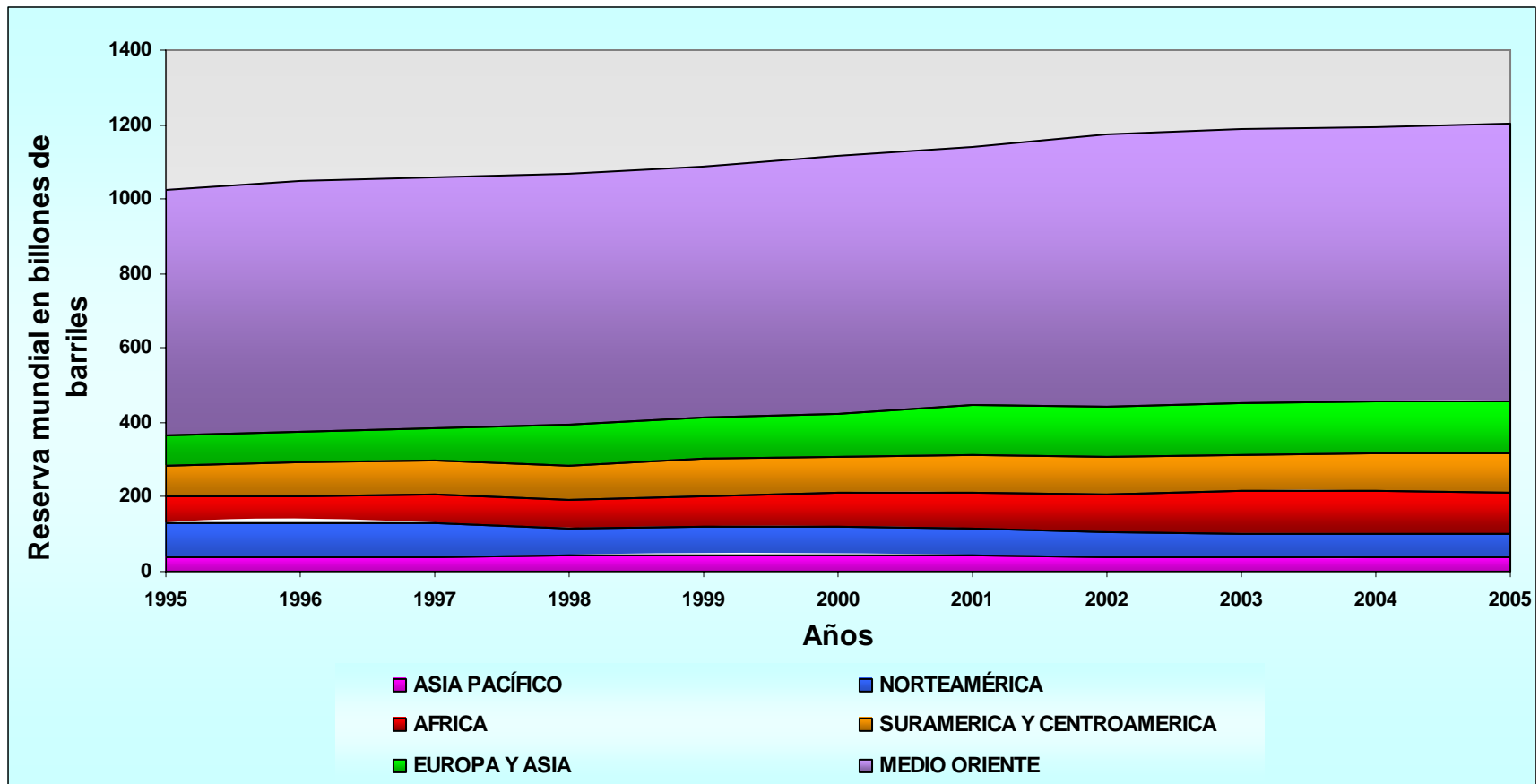


Fig. A-2.2: Retrospectiva de la reserva mundial de petróleo.

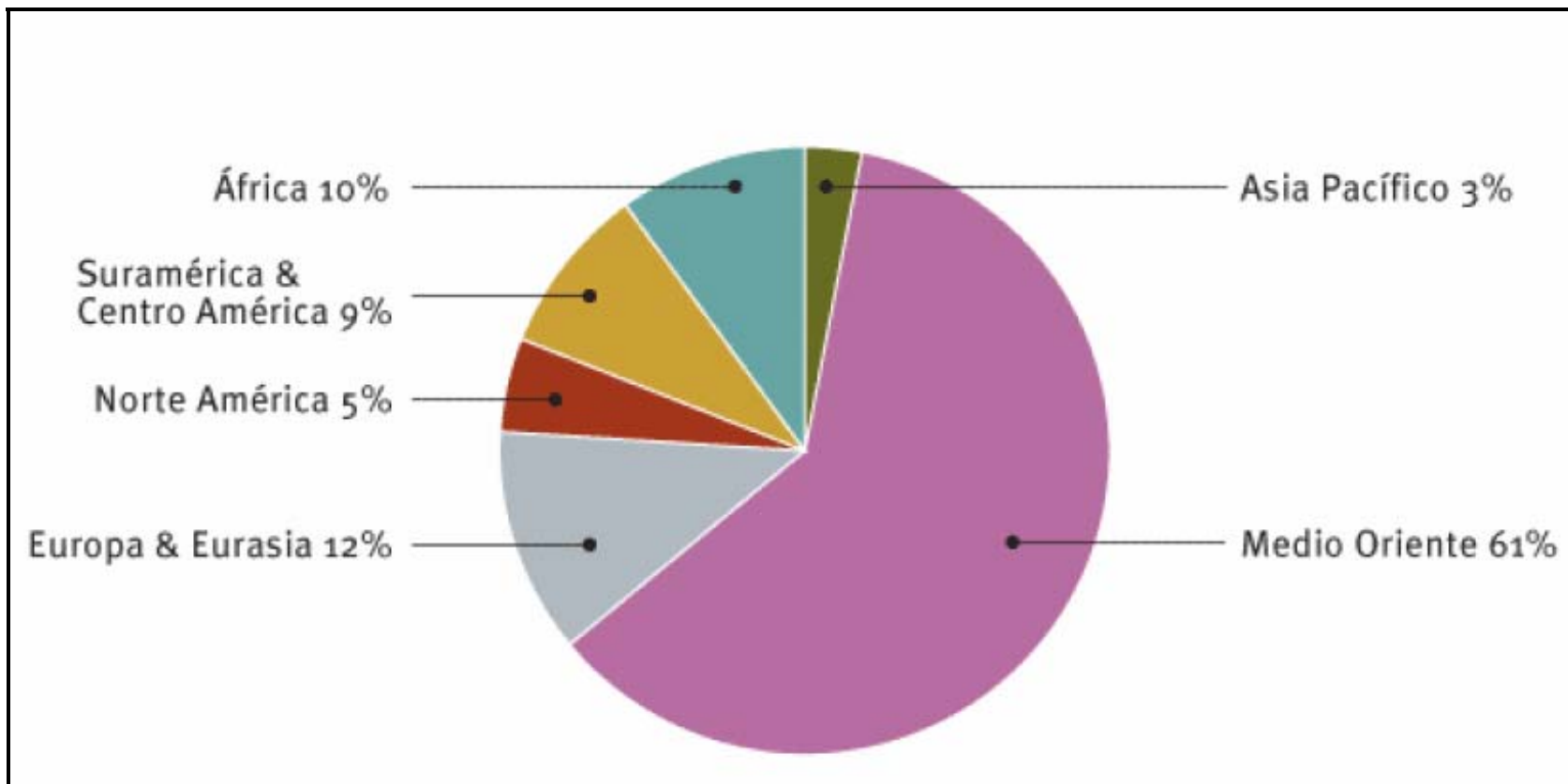


Fig. A- 2.3: Reserva Mundial del petróleo en 2005.

ANEXO 2.2: RETROSPECTIVA DE CONSUMO MUNDIAL DEL PETRÓLEO 1995-2005 (Miles de barriles por día) ⁴⁵

REGIONES	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
MEDIO ORIENTE	4240	4370	4457	4522	4599	4735	4854	5047	5238	5492	5739
EUROPA Y ASIA	19703	19555	19738	19826	19742	19564	19743	19726	19903	20195	20350
NORTEAMÉRICA	21150	21793	22275	22674	23286	23522	23571	23665	24050	24877	24875
SURAMERICA Y CENTROAMERICA	4133	4297	4535	4680	4704	4661	4739	4688	4537	4647	4776
AFRICA	2198	2239	2308	2389	2449	2458	2475	2511	2568	2646	2763
ASIA PACÍFICO	18081	18872	19929	19503	20307	20839	20998	21644	22359	23586	23957

⁴⁵ Toda la información de este anexo pertenece a la fuente: ECOPEL, (2005).

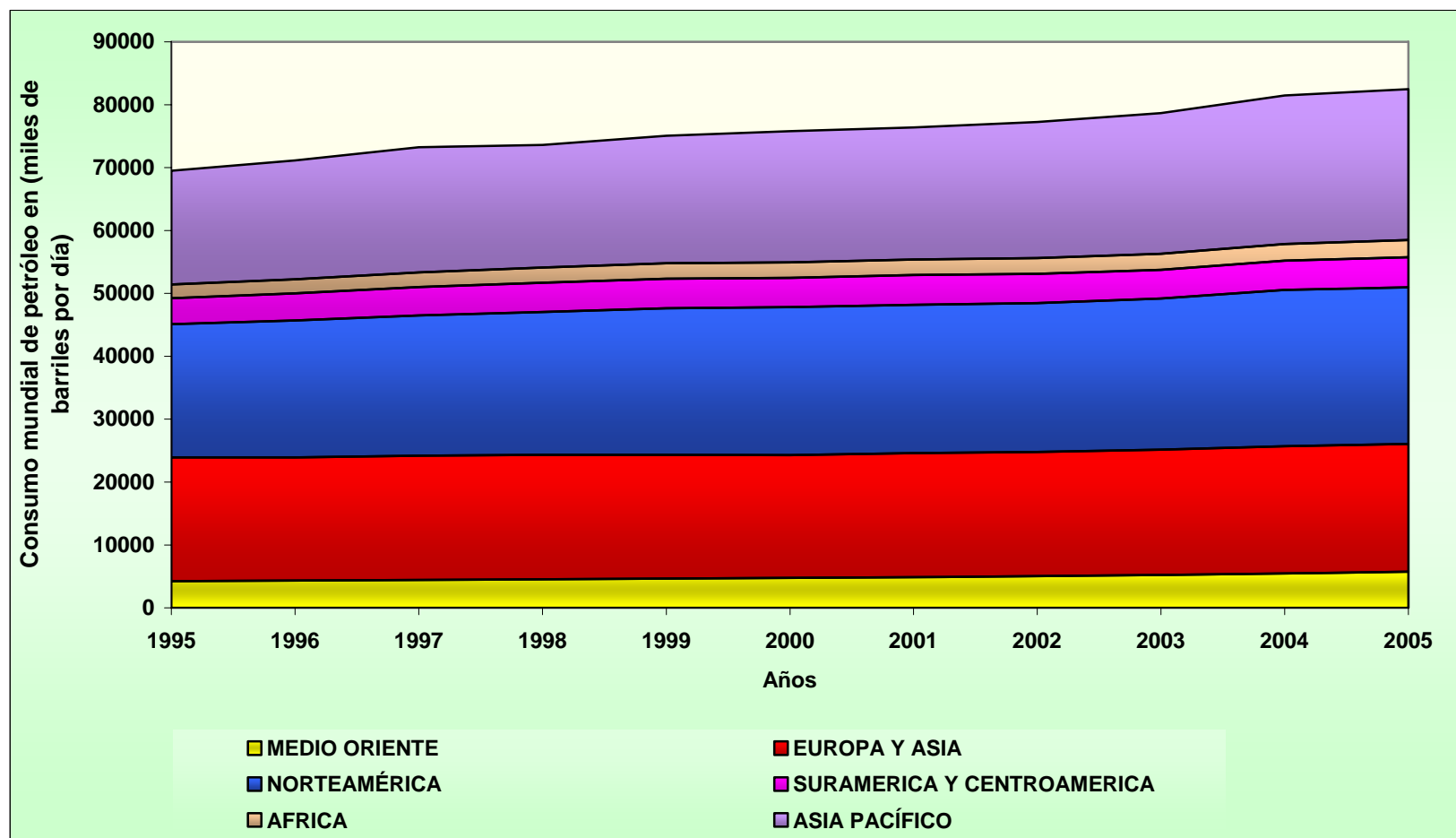


Fig. A-2.4: Consumo Mundial del Petróleo, principales regiones.

La figura muestra a partir de los datos anteriores, las regiones mayor consumidoras del crudo, estas son: Europa y Asia, Norteamérica, y Asia Pacífico.

El consumo en el medio oriente se ha mantenido constante al igual que en Europa y Asia.

ANEXO 2.3: RETROSPECTIVA DE PRECIOS INTERNACIONALES DEL CRUDO⁴⁶

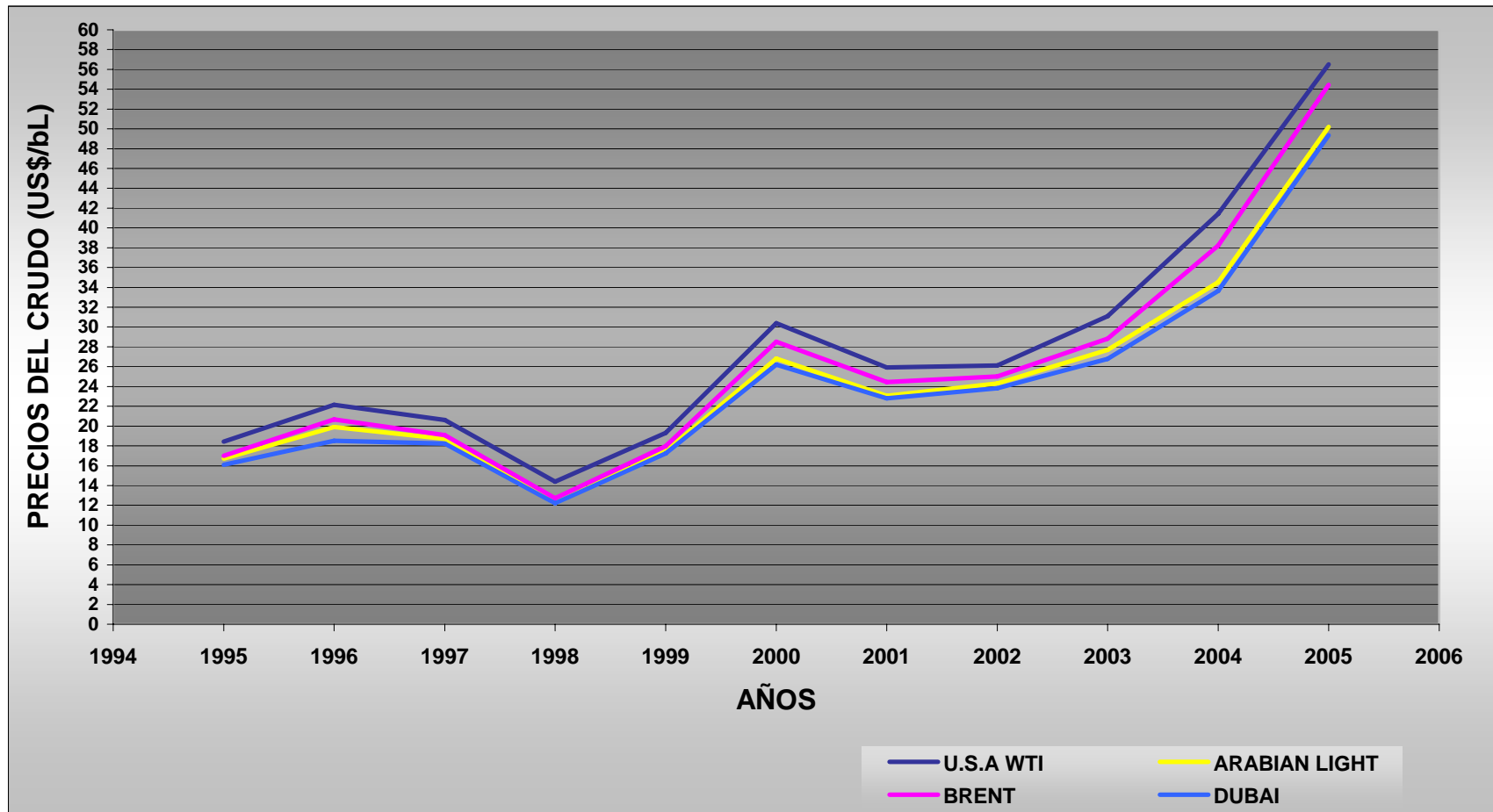


Fig. A- 2.5: Retrospectiva de precios del Petróleo representado en los principales índices económicos internacionales.

⁴⁶ Fuente: ECOPELROL, (2005)

ANEXO 3.0: DIFERENCIACION DE LOS PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL BIOETANOL A PARTIR DE LAS TRES MATERIAS PRIMAS PRINCIPALES⁴⁷.

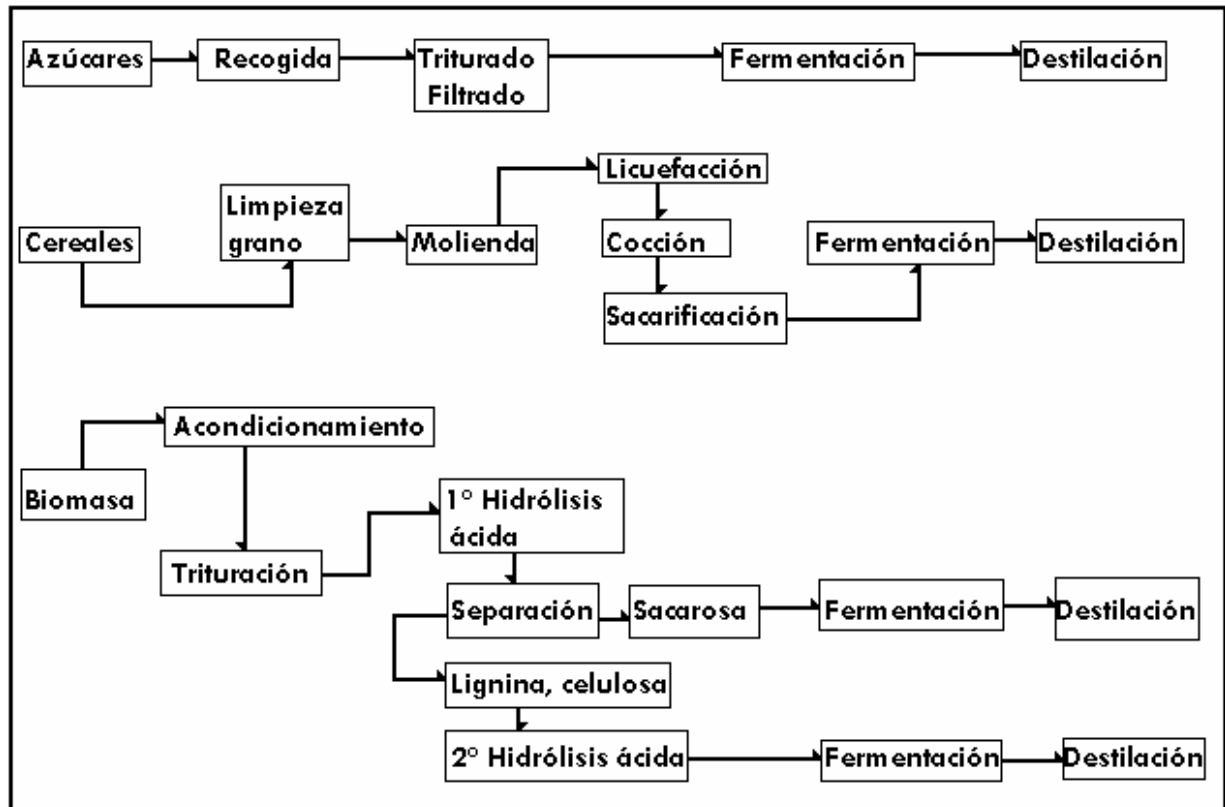


Figura A-3.0: Proceso de producción de etanol a partir de diferentes materiales básicos.

Para lograr producir bioetanol a partir de los tres materiales importantes descritos en la figura A-3.0, es necesario darle un pre-tratamiento, como son reducción de tamaño en seco o en húmedo, y luego reducirlo a los azúcares, para al final fermentar para obtener el bioetanol.

⁴⁷ Fuente: CITME, (2006).

ANEXO 3.1: PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ETANOL EN 2003⁴⁸

<i>Orden</i>	<i>País / Área</i>	<i>Cantidad (1)</i>	<i>Valor (2)</i>	<i>% (3)</i>	<i>\$ (4)</i>
1	Brasil	33.835.433	11.740.232	25,72	0,344
2	EE.UU.	26.810.473	10.428.040	22,845	0,392
3	Indonesia	21.565.331	7.148.024	15,66	0,328
4	Argentina	14.770.564	4.732.664	10,368	0,32
5	Tailandia	10.984.465	3.647.256	7,99	0,336
6	Australia	10.128.424	3.536.440	7,747	0,352
7	China	7.305.563	3.256.592	7,134	0,448
8	Pakistán	1.806.990	619.136	1,356	0,344
9	Francia	394.812	446.440	0,978	1,128
10	India	269.474	91.616	0,201	0,336
	TOTAL	127.871.529	45.646.440	100	0,36

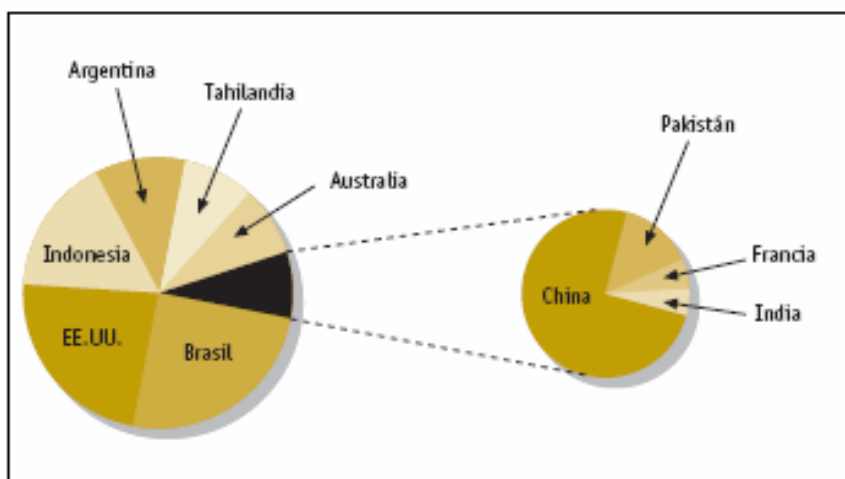


Figura A-3.1: Producción mundial de etanol en 2003.

Los países que encabezan la producción son, Brasil, Estados Unidos e Indonesia, según puede apreciarse en el cuadro y en la figura A- 3.1.

⁴⁸ Fuente: CITME, (2006).

ANEXO 3. 2: PRIMEROS DIEZ PAÍSES EXPORTADORES DE ETANOL EN 2004⁴⁹.

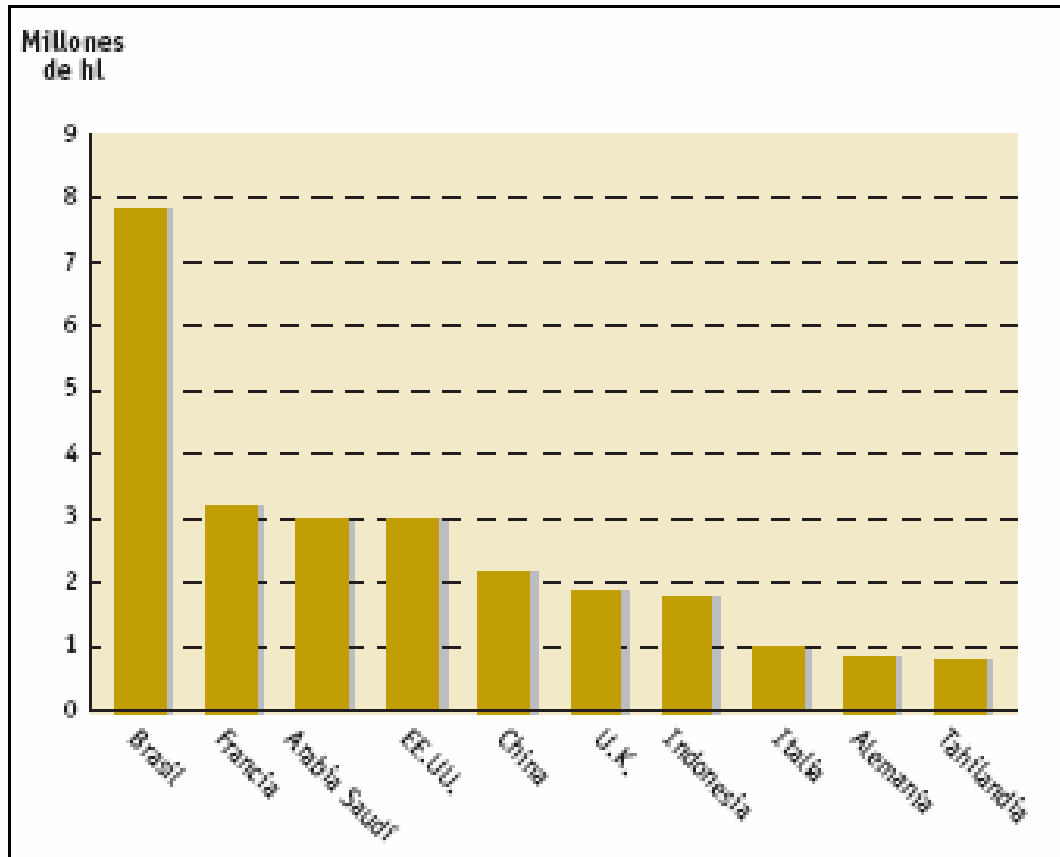


Figura A-3.2: primeros diez países exportadores de etanol en el mundo en 2004.

En la Figura anterior se puede apreciar que Brasil es el mayor exportador de etanol en el mundo, según se puede confirmar en el cuadro A- 3.1.

⁴⁹ Fuente: CITME, (2006).

ANEXO 4.0: PRETATAMIENTO DE ACIDOS GRASOS LIBRES⁵⁰.

7. Pretreatment of High Free Fatty Acid Feedstocks

Many low cost feedstocks are available for biodiesel production. Unfortunately, many of these feedstocks contain large amounts of free fatty acids (FFAs). As discussed elsewhere, these free fatty acids will react with alkali catalysts to produce soaps that inhibit the reaction.

The following ranges of FFA are commonly found in biodiesel feedstocks:

Refined vegetable oils	< 0.05 %
Crude vegetable oil	0.3 – 0.7%
Restaurant waste grease	2 – 7%
Animal fat	5 – 30%
Trap grease	40 – 100%

Generally, when the FFA level is less than 1%, and certainly if it is less than 0.5%, the FFAs can be ignored. Common catalyst amounts are:

Sodium hydroxide:	1% of triglyceride weight
Potassium hydroxide:	1% of triglyceride weight
Sodium methoxide:	0.25% of triglycerides weight

Soaps may allow emulsification that causes the separation of the glycerol and ester phases to be less sharp. Soap formation also produces water that can hydrolyze the triglycerides and contribute to the formation of more soap. Further, catalyst that has been converted to soap is no longer available to accelerate the reaction.

When FFA levels are above 1%, it is possible to add extra alkali catalyst. This allows a portion of the catalyst to be devoted to neutralizing the FFAs by forming soap, while still leaving enough to act as the reaction catalyst.

Since it takes one mole of catalyst to neutralize one mole of FFA, the amounts of additional catalyst can be calculated by the following formulas:

Sodium hydroxide:	$[\%FFA](0.144) + 1 \%$
Potassium hydroxide:	$[\%FFA](0.197)/0.86 + 1 \%$
Sodium methoxide:	$[\%FFA](0.190) + 0.25 \%$

For example, when adding sodium methoxide to a feedstock with 1.5 % FFA, the amount of catalyst would be:

$$(1.5)(0.190) + 0.25 \% = 0.54 \% \text{ of the triglycerides weight}$$

Note that a factor of 0.86 has been included with the potassium hydroxide calculation to reflect that reagent grade KOH is only 86% pure. If other grades of catalyst are used, this factor should be adjusted to their actual purity.

⁵⁰ Nota: todo este anexo se ha seleccionado de NREL, (2004).

This approach to neutralizing the FFAs will sometimes work with FFA levels as high as 5 – 6%. The actual limit can depend on whether other types of emulsifiers are present. It is especially important to make sure that the feedstock contains no water. 2-3% FFA may be the limit if trace of water are present.

For feedstocks with higher amounts of FFA, the addition of extra catalyst may create more problems than it solves. The large amount of soap created can gel. It can also prevent the separation of the glycerol from the ester. Moreover, this technique converts the FFAs to a waste product when they could be converted to biodiesel.

When working with feedstocks that contain 5-30% FFA or even higher, it is important to convert the FFAs to biodiesel or the process yield will be low. There are at least four techniques for converting the FFAs to biodiesel:

1. **Enzymatic methods:** These methods require expensive enzymes but seem to be less affected by water. At the present time, no one is using these methods on a commercial scale.
2. **Glycerolysis:** This technique involves adding glycerol to the feedstock and heating it to high temperature (200°C), usually with a catalyst such as zinc chloride. The glycerol reacts with the FFAs to form mono- and diglycerides. Figure 21 shows the rate of decrease of the fatty acid level in a batch of animal fat. This technique produces a low FFA feed that can be processed using traditional alkali-catalyzed techniques.

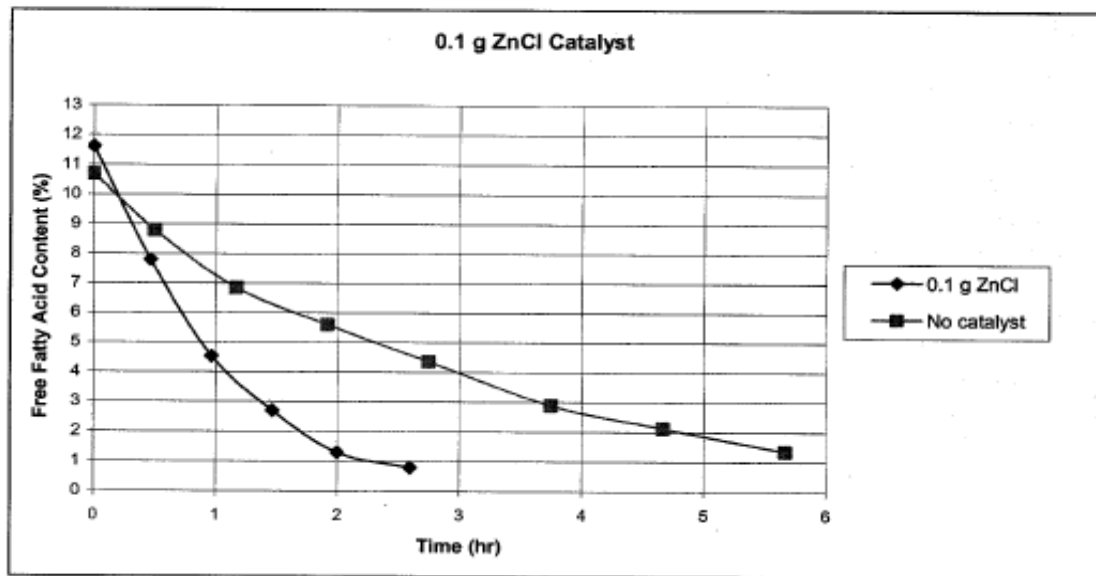
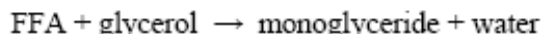


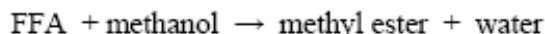
Figure 21. Reduction of Fatty Acids by Glycerolysis
(100 g animal fat, 13 g glycerol, 0.1 g ZnCl, 200°C, 11 psi vacuum)

The drawback of glycerolysis is the high temperature and that the reaction is relatively slow. An advantage is that no methanol is added during the pretreatment so that as water is formed by the reaction



The water immediately vaporizes and can be vented from the mixture.

3. **Acid Catalysis:** This technique uses a strong acid such as sulfuric acid to catalyze the esterification of the FFAs and the transesterification of the triglycerides. The reaction does not produce soaps because no alkali metals are present. The esterification reaction of the FFAs to alcohol esters is relatively fast, proceeding substantially to completion in one hour at 60°C. However, the transesterification of the triglycerides is very slow, taking several days to complete. Heating to 130°C can greatly accelerate the reaction but reaction times will still be 30-45 minutes. Another problem with acid catalysis is that the water production from the following reaction



stays in the reaction mixture and ultimately stops the reaction, usually well before reaching completion.

4. **Acid catalysis followed by alkali catalysis:** This approach solves the reaction rate problem by using each technique to accomplish the process for which it is best suited. Since acid catalysis is relatively fast for converting the FFAs to methyl esters, it is used as a pretreatment for the high FFA feedstocks. Then, when the FFA level has been reduced to 0.5%, or lower, an alkali catalyst is added to convert the triglycerides to methyl esters. This process can convert high free fatty acid feedstocks quickly and effectively. Water formation is still a problem during the pretreatment phase. One approach is to simply add so much excess methanol during the pretreatment that the water produced is diluted to the level where it does not limit the reaction. Molar ratios of alcohol to FFA as high as 40:1 may be needed. The disadvantage of this approach is that more energy is required to recover the excess methanol. Another approach would be to let the acid-catalyzed esterification proceed as far as it will go until it is stopped by water formation. Then, boil off the alcohol and water. If the FFA level is still too high, then additional methanol and, if necessary, acid catalyst can be added to continue the reaction. This process can be continued for multiple steps and will potentially use less methanol than the previous approach. Again, the disadvantage is the large amount of energy required by the distillation process.

A less energy intensive approach is to let the acid-catalyzed reaction mixture settle. After a few hours, a methanol-water mixture will rise to the top and can be removed. Then, additional methanol and acid can be added to continue the reaction. [Patent pending, Earl Hammond, ISU]. It is also possible to use fluids such as glycerol and ethylene glycol to wash the water from the mixture.

Procedure for High FFA Feedstocks

1. Measure FFA level
2. Add 2.25 g methanol and 0.05 g sulfuric acid for each gram of free fatty acid in the oil or fat. Sulfuric acid and methanol should be mixed first and then added slowly to the oil.
3. Agitate for one hour at 60-65°C.
4. Let mixture settle. Methanol-water mixture will rise to the top. Decant the methanol, water, and sulfuric acid layer.
5. Take bottom fraction and measure new FFA level.
6. If FFA is > 0.5%, return to step 2 with new FFA level. If FFA is < 0.5%, proceed to step 7.
7. Add an amount of methanol equal to $0.217 \times [\text{grams of unreacted triglycerides}]$ and an amount of sodium methoxide equal to $[0.25 + (\%FFA)0.190]/100 \times [\text{grams of unreacted triglycerides}]$. Mix the sodium methoxide with the methanol and then add to the oil. This corresponds to a 6:1 molar ratio of methanol to oil for the unreacted triglycerides. It ignores any methanol that may have carried over from the pretreatment.
8. Agitate for 1 hour at 60°C.

Example: 100 g of 12% FFA animal fat

Pretreatment: $2.25 \times 12 \text{ g} = 27.0 \text{ g}$ methanol
 $0.05 \times 12 \text{ g} = 0.6 \text{ g}$ H₂SO₄ (sulfuric acid)

Mix acid with methanol. Then add mixture to fat. Agitate for one hour at 60°C. Let settle and separate bottom phase. Acid value should decrease substantially, to at least 5-6 mg KOH/g. Therefore, FFA = 2.5%

Second step of pretreatment:
 $2.25 \times 2.5 \text{ g} = 5.6 \text{ g}$ of methanol
 $0.05 \times 2.5 \text{ g} = 0.13 \text{ g}$ H₂SO₄

Mix with oil, agitate at 60°C for 1 hour. FFA should be < 0.5%. Removal of upper phase is usually optional at this point.

Then add $0.217 \times (88) = 19.1 \text{ g}$ methanol
 $[0.25 + (0.5)(0.190)]/100 \times 88 = 0.30 \text{ g}$ sodium methoxide

Agitate at 60°C for one hour. If glycerol and ester do not separate, add 50 g of warm distilled water to encourage separation. Wash 3-4 times.

ANEXO 5.0: EJEMPLO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DE LA GRASA Y EL ACEITE USADO.

Para la cuantificación experimental de la densidad de las muestras, se realizó de manera indirecta, es decir, con relación de propiedades, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

m = masa en gramos; v = volumen en cm³.

Así pues, como ejemplo se tiene:

La densidad de la grasa de pollo (muestra 1), a temperatura ambiente: T = 30°C

Para un Vcte = 500 cm³, peso del beaker = 229.0 gr. Peso total = 682.7 gr.

Entonces:

Por diferencia de peso se encuentra el peso de la grasa de pollo como sigue:

$$m_{\text{grasa de pollo}} = m_{\text{total}} - m_{\text{bea ker}} = 682.7 - 229.0 = 453.7 \text{ gr.}$$

Por consiguiente la densidad de la muestra de grasa de pollo es:

$$\rho_{\text{grasa de pollo}} = \frac{m}{V} = \frac{453.7}{500} = 0.9074 \text{ gr/ml}$$

De la misma manera se procede con las demás muestras, y al final se saca un promedio de ellas.

ANEXO 5.1: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD DE LOS MATERIALES GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.

Esta prueba se realizará usando un viscosímetro, a dos tipos de temperatura: ambiente y a una temperatura de 45°C.

a. MATERIAL Y EQUIPO:

Viscosímetro rotacional.

Beakers de 500 ml.

Termómetro (0-100°C).

Probeta de 500 ml.

Fuente calorífica. (HOT PLATE).

b. PROCEDIMIENTO:

1. Medir un volumen de 500 ml. De muestra de grasa y aceite por duplicado respectivamente (cuatro muestras), y colocarlas en el beaker de 500 ml.
2. medir la viscosidad de cada muestra cada 5 minutos por 30 minutos; y escribir los datos en un cuadro de información.

c. CALCULOS Y RESULTADOS:

La viscosidad presente en los aceites es un indicativo, de la glicerina que le confiere a los aceites resistencia al movimiento, esta viscosidad se verá disminuida a medida que se produzca la reacción del método ácido- base para la elaboración de biodiesel.

ANEXO 5.2: EJEMPLO DE CALCULOS DE LA HUMEDAD PRESENTE EN LA GRASA CRUDA.



El cálculo de la humedad presente en la grasa cruda, (pellejo fresco); se realizó por diferencias de peso, pesándose una pequeña cantidad en partículas pequeñas y poniéndose a secar, al final del proceso se determina su peso final, la diferencia de peso dividido entre el total es la humedad presente en las muestras.

Figura A-5.3: grasa cruda de pollo (foto tomada por Jessica Zelaya, nov. 2006).



Para la primera muestra de grasa de pollo se tiene:

Peso recipiente (papel Al) = 1.6096 gr.

Peso muestra = 30.7787

Peso total después de secado = 26.3043 gr.

Figura A-5.3.1: grasa de pollo al final del secado (foto tomada por Jessica Zelaya, nov. 2006).

Entonces la humedad presente se calcula de la siguiente manera:

$$\%h_{grasa\ cruda} = \frac{m_{grasa\ cruda} - (m_{recipiente} - m_{recipiente})}{m_{muestra\ cruda}} * 100\% = \frac{30.7787 - (26.3043 - 1.6096)}{30.7787} * 100\%$$

$$\%h_{grasa\ cruda} = 80.23\%$$

Finalmente se saca un promedio de las repeticiones realizadas.

ANEXO 5.3: CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA GRASA DE POLLO EXTRAÍDA POR COCCIÓN A FUEGO DIRECTO.

Para el cálculo del rendimiento de extracción de la grasa por cocción a fuego directo, se realizó con diferencias de peso de dos repeticiones. Esta extracción se realizó en domicilio, y se cuantificó en los laboratorios de la Planta Piloto.

Los cálculos son como siguen:

Para la muestra número 1 se tiene:

Peso del recipiente = 226.8 gr.

Peso grasa cruda = 453.5923 gr. (1 lb.).

Peso total (grasa extraída + recipiente) = 552.2 gr.

$$m_{\text{grasa extraída}} = m_{\text{total}} - m_{\text{recipiente}} = 552.2 - 226.0 = 325.4 \text{ gr.}$$

Por lo tanto el rendimiento es el siguiente:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{m_{\text{grasa extraída}}}{m_{\text{cruda}}} * 100\% = \frac{325.4}{453.5923} * 100\% = 71.74\% \left(\% \frac{p}{p} \right).$$

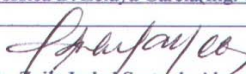

Nótese que el rendimiento está expresado en %p/p, lo que indica que en 100 gramos puede obtenerse 71.74 gr. de grasa en el pellejo de pollo.

ANEXO 5.4: REPORTE DE ANALISIS DE ACIDOS GRASOS LIBRES Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD FISICOQUIMICO
DE MEDICAMENTOS, COSMETICOS Y ALIMENTOS



INFORME DE ANALISIS			
Nombre: Grasa Animal (pollo)	Materia prima	Fabricante: _____	
Nº Lote: _____	Fecha de fabricación: _____	Fecha de vencimiento: _____	Código: A 005 - 06
Cantidad rotulada de principio(s) activo(s): _____	Método de análisis: Determinación de Humedad (Arrastre por tolueno) Determinación de ácidos grasos libres.	Envase primario: _____	
Determinaciones:	Especificaciones:	Resultados:	
Determinación de Humedad	Arrastre por tolueno USP XIX	No detectable	
Ácidos grasos libres	ASTM. Designation: D 5555-95 (Reapproved 2001). Standard Test Method for Determination of Free Fatty Acids Contained in Animal, Marine, and Vegetable Fats and Oils Used in Fats Liquors and Stuffing Compounds	60.91%	
Observaciones y conclusiones: El informe corresponde a la muestra recibida. Procedencia de la muestra : Br. Jessica D. Zelaya García (Ing. Química)			
Analista: Miguel Ángel Hernández		 Reviso: Licda. Zoila Isabel Sorto de Alarcón Jefe de laboratorio de control de calidad fisico quimico de Medicamentos, Cosméticos y Alimentos.	
Fecha de análisis: 15 de Noviembre de 2006			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD FISICOQUIMICO
DE MEDICAMENTOS, COSMETICOS Y ALIMENTOS



INFORME DE ANALISIS			
Nombre: Grasa Vegetal .		Materia prima	Fabricante: -----
N° Lote: -----	Fecha de fabricación: -----	Fecha de vencimiento: -----	Código: A 006 - 06
Cantidad rotulada de principio(s) activo(s): -----	Método de análisis: Determinación de Humedad (Arrastre por tolueno) Determinación de ácidos grasos libres.		Envase primario: -----
Determinaciones:	Especificaciones:	Resultados:	
Determinación de Humedad	Arrastre por tolueno USP XIX	No detectable	
Ácidos grasos libres	ASTM. Designation: D 5555-95 (Reapproved 2001). Standard Test Method for Determination of Free Fatty Acids Contained in Animal, Marine, and Vegetable Fats and Oils Used in Fats, Liquors and Stuffing Compounds	80.55%	
Observaciones y conclusiones: El informe corresponde a la muestra recibida. Procedencia de la Muestra: Br. Jessica D. Zelaya García (Ing. Química)			
Analista: Juan Carlos Amaya		Reviso: Licda. Zoila Isabel Sorto de Alarcón Jefe de laboratorio de control de calidad fisicoquímico de Medicamentos, Cosméticos y Alimentos.	
Fecha de análisis: 15 de Noviembre de 2006			

ANEXO 5.4.1: PROCEDIMIENTO UTILIZADO EN LA DETERMINACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS LIBRES Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN LAS MUESTRAS GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO, REALIZADO EN EL LABORATORIO FISICOQUIMICO DE CENSALUD.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD FISICOQUIMICO
DE MEDICAMENTOS, COSMETICOS Y ALIMENTOS



MÉTODO DE ANALISIS

DETERMINACION DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES EN GRASAS DE ORIGEN ANIMAL Y VEGETAL.

MATERIAL Y REACTIVOS:

- Burea de 25mL
- Pipeta de 50mL
- Matraz 250 mL
- Etanol al 95%
- Fenolftaleina como indicador.
- Hidróxido de sodio 1N VS

PROCEDIMIENTO:

- 1-Pesar exactamente 50mg de la muestra y transferirla a un matraz de 250mL .
- 2-Tomar una alícuota de 50mL Etanol al 95%.
- 3-Transferir los 50 mL al matraz y calentar suavemente .
- 4-Agregar 4 gotas de indicador (Fenolftaleina) .
- 5-Titular con NaOH 1N VS agitando la solución hasta cambio de color (rojo) . Este color persiste por 30 segundos.

CÁLCULOS:

$$\% \text{ de Ácidos Grasos Libres} = \frac{\text{mL de alcali} \times N \times 28.2 \times 100}{\text{Peso de la muestra en gramos}}$$

REFERENCIAS:

ASTM.

Designation: D 5555-95 (Reapproved 2001).

Standard Test Method for Determination of Free Fatty Acids Container in Animal, Marine, and Vegetable Fats and Oils Used in Fats Liquors and Stuffing Compounds .



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO EN SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD FISICOQUIMICO
DE MEDICAMENTOS, COSMETICOS Y ALIMENTOS



MÉTODO DE ANALISIS PARA DETERMINACION DE AGUA.

MÉTODO : ARRASTRE POR TOLUENO .

MATERIAL Y REACTIVOS:

- Balón de 250mL
- Trampa
- Refrigerante
- Hot plate
- Tolueno

PROCEDIMIENTO:

1. Pesar exactamente 50g de muestra y transferirla a un balón de 250mL.
2. Al balón de 250mL con La muestra agregar 15mL de tolueno .
3. Armar el aparato para destilación por tolueno (USP XIX)
4. Calentar suavemente por unos por 15 minutos y cuando el destilado es constante (gotas) calentar por 5 minutos mas .
5. Dejar enfriar para que el agua se condense y medir la cantidad de agua en la trampa.
6. Calcular el porcentaje de agua en la muestra.

REFERENCIAS: USP XIX

ANEXO 5.5: PROCEDIMIENTO VISUAL DE LA ELABORACIÓN DE BIODIESEL EN LABORATORIO⁵¹.



Muestra inicial grasa de pollo **(a)** y aceite vegetal usado **(b)**, ambas muestras contienen un volumen de 1700 ml con tres repeticiones cada una.

⁵¹ Nota: todas las fotografías de este Anexo, fueron tomadas por Jessica Zelaya (octubre-noviembre, 2006)



Adición de 136 ml de metanol puro, luego se agitó por 5 minutos, posteriormente se adicionó 1.7 ml de ácido sulfúrico al 98% puro, y se calentó a 40°C, para llevar a cabo la etapa ácida.





Final de la etapa ácida, las muestras están oscurecidas por efecto de la etapa ácida la duración de esta etapa fue de 24 horas la solución de metóxido se preparó un día de anticipación para que la reacción se completara.



Inicio de la etapa básica, se agregó al inicio 102 ml de solución de metóxido de sodio (para neutralizar los ácidos) y se calentó a 55°C para dar inicio a la etapa básica luego se agregó el resto de la solución (102 ml) de metóxido con agitación constante. Duración de esta etapa 2 horas.



Metil ester de aceite usado



Metil ester de grasa de pollo

Final de la etapa básica, se produce separación de la glicerina (aproximadamente 160 ml) y de los metil ésteres (1700 ml) **(a)**; la glicerina se separa del metil ester, usando un embudo de separación para facilitar el proceso de separación **(b)**.





Al final quedan las fases separadas. El Metil ester de grasa de pollo **(a)**, y el metil ester de aceite vegetal usado **(b)**, con sus correspondientes glicerinas. Se obtiene un volumen de 1.7 lt. De biodiesel bruto.



A lograrse la separación de las fases, es necesario realizar un lavado a las muestras para lograr arrastrar las sustancias contaminantes; la cantidad de agua utilizada fue de 600 ml, para obtener un pH de 7 en todas las muestras de metil esterres.



Al final de la operación de lavado las muestras quedan transparentes, sin embargo deben dejarse en reposo por un término de 15 -20 días para dejar sedimentar los sólidos que aún quedan suspendidos en el.

El volumen obtenido fue de 900 ml para metil ester de aceite vegetal usado **(a)** y 1200 ml de metil ester de grasa de pollo **(b)**.

ANEXO 5.6: EJEMPLO DE CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DEL BIODIESEL ELABORADO A PARTIR DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO.

Para el rendimiento del biodiesel elaborado, se tomará la muestra 1 de grasa de pollo, para empezar se necesita la densidad del biodiesel que es cuantificado experimentalmente, la densidad del biodiesel a temperatura ambiente (27°C) es = 0.864 gr. /cm³ (ver cuadro 9.11).

Los cálculos proceden de la siguiente forma:

Densidad promedio de la grasa de pollo a Tambiente (30°C) = 0.8804 gr. /cm³.

Volumen de muestra utilizado para la transesterificación = 1700 cm³.

Volumen de biodiesel inicial obtenido (antes del lavado) = 1700 cm³.

$$m_{grasa\ utilizada} = V_{muestra} * \rho_{muestrautilizada} = 1700 * 0.8804 = 1496.68 \text{ gr.}$$

$$m_{biodiesel\ inicial\ obtenido} = V_{biodiesel} * \rho_{biodiesel} = 1700 * 0.864 = 1468.8 \text{ gr.}$$

$$\% \text{ Rendimiento}_{inicial} = \frac{m_{biodiesel}}{m_{grasa\ de\ pollo}} * 100\% = \frac{1468.8}{1496.68} * 100\% = 98.14\% \left(\% \frac{P}{P} \right)$$

Por lo que en 100 gr. De grasa de pollo puede obtenerse 98.14 gr. De biodiesel.

Ahora el procedimiento es el mismo para el rendimiento final del biodiesel obtenido posterior a la etapa de lavado y al final se obtiene un promedio de cada una de las repeticiones (ver cuadro 9.7).

Ahora para obtener el rendimiento del biodiesel (lavado) a partir de la grasa cruda, son necesarios los datos de rendimiento promedio de extracción de grasa, y el rendimiento final promedio del biodiesel (lavado).

Por lo tanto:

Rendimiento de extracción de la grasa de pollo = 69.24% (tabla 9.4)

Rendimiento final del biodiesel obtenido = 69.28% (%p/p). (Tabla 9.7)

$$\% R_{\text{biodiesel/grasa cruda}} = R_{\text{final biodiesel}} * R_{\text{extracción}} * 100\%$$

$$\% R_{\text{biodiesel/grasa cruda}} = 0.6928 * 0.6924 * 100\% = 47.97\% \left(\% \frac{P}{p} \right)$$

Por lo tanto puede observarse que el rendimiento es muy bajo, esto puede deberse a la pérdida de muestra en el lavado y a que no ha reaccionado al 100%.

ANEXO 5.7: REPORTE DE RESULTADOS DEL INDICE DE CETANO DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO, PRORCIONADO POR MINAS E HIDROCARBUROS DEL MINISTERIO DE ECONOMIA.



MINISTERIO DE ECONOMIA
Dirección de Hidrocarburos y Minas
REPUBLICA DE EL SALVADOR, C.A.

San Salvador, 10 de Noviembre de 2006.

Ing. Delmy Rico Peña.
Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
Universidad de El Salvador.
PRESENTE.

Estimada Ing. Rico:

A continuación el resultado de las mediciones del Índice de Cetano , en las muestras de aceites enviadas.

Medición	Metil Ester de Aceite Vegetal	Metil Ester de Grasa de Pollo
1	33.3	26.9
2	35.7	29.3
3	35.8	29.5

Se aclara que las mediciones fueron realizadas con un aparato medidor de cetano, diseñado para hidrocarburos.



Atentamente.

[Handwritten Signature]
GINA NAVAS DE HERNANDEZ
DIRECTORA DE HIDROCARBUROS Y MINAS.

METIL ESTER DE
ACEITE VEGETAL
*****LEADO*****
11/10/06 11:11:34 AM

Sample #3456

DIESEL
INDEX 33.3
*** WARNING ***
* HIGH HI 35.0
* VARIANCE LO 31.7

*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

NUMBER 7.9
*** WARNING ***
* HIGH HI 9.1
* VARIANCE LO 6.8

*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

SULPHURX10 0.0

11/10/06 11:13:09 AM

Sample #3457

DIESEL
INDEX 35.7
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

NUMBER 7.1
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

SULPHURX10 0.0

11/10/06 11:14:19 AM

Sample #3458

DIESEL
INDEX 35.8
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

NUMBER 7.5
*** WARNING ***
* VALUE TOO LOW *

SULPHURX10 0.0

METIL ESTER DG
GRASA DE POLLO

11/10/06 11:21:56 AM

ANEXO 5.8: EJEMPLO DE CALCULO DEL NUMERO ACIDO EN LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.

Para el cálculo del número ácido (mg. KOH / gr.), se necesita calcular la acidez libre, por método de titulación, y de ahí realizar la conversión a número ácido.

Entonces para la muestra 1 metil ester de grasa de pollo se tiene:

Normalidad del Hidróxido de sodio = 0.09 N.

Cantidad de muestra utilizada = 28.2124 gr.

Volumen de blanco = 0.3 ml.

Volumen gastado de NaOH = 3.2 ml.

$$\% AGL_{biodiesel} = \frac{(V_{NAOH \text{ en titulación}} - V_{blanco}) * Normalidad_{titulante} * 28.2}{W_{muestra}} * 100\%$$

$$\% AGL_{biodiesel} = \frac{(3.2 - 0.3) * 0.09 * 28.2}{28.2124} * 100\% = 26.21\%$$

Para el número ácido solamente debe multiplicarse por 1.99 para realizar la conversión, por lo tanto:

$$N_{acido} \left(\frac{mg \cdot KOH}{gr} \right) = AGL_{biodiesel} * 1.99 = 0.2621 * 1.99 = 0.522$$

Después se calcula el promedio de cada repetición.

ANEXO 5.9: EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DEL METIL ESTER DE ACEITE USADO DE COCINA Y METIL ESTER DE GRASA DE POLLO, MEDIDO EN EL LABORATORIO DE LA PLANTAL PILOTO EIQ.

Se tiene que:

$$\mu_1 = \frac{\rho_1 * \theta_1 * \mu_2}{\rho_2 \theta_2}$$

Donde:

μ_1 y μ_2 = Viscosidad en centipoise, del líquido de referencia (agua destilada) y la del biodiesel, respectivamente.

ρ_1 y ρ_2 = Densidad en gr. / cm³ del líquido de referencia (agua destilada) y la del biodiesel, respectivamente.

θ_1 y θ_2 = Tiempo en segundos, que tarda en abandonar las marcas de aforo del viscosímetro de Ostwald respectivamente.

El cálculo de la viscosidad para la primera repetición del metil ester de grasa de pollo son necesarios los siguientes valores:

Densidad a 30°C del líquido referencia (agua destilada)= 0.99568 gr. /cm³; valor obtenido teóricamente.

Viscosidad a 30°C del líquido referencia (agua destilada) = 0.8007 cp; valor obtenido teóricamente.

Densidad del líquido problema:

Metil ester de grasa de pollo = 0.864 gr. / cm³; obtenido en laboratorio.

Tiempo de la primera repetición en segundos = 60.47 seg.

Tiempo promedio de líquido referencia en segundos = 9.76 seg.

Por lo que:

$$\mu_1 = \frac{\rho_1 * \theta_1 * \mu_2}{\rho_2 \theta_2} = \frac{0.864 * 60.47 * 0.8007}{0.99568 * 9.76} = 4.4493 \text{ cp}$$

Para encontrar la viscosidad cinemática solamente debe dividirse entre la densidad dando como resultado:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{4.4493}{0.864} = 5.1496524 \text{ mm}^2/\text{s}$$

De igual manera se realiza para el metil ester de grasa de pollo.

ANEXO 5.10: EJEMPLO DE CALCULO DE LA DENSIDAD DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO, REALIZADO EN PLANTA PILOTO.

Para la cuantificación experimental de la densidad de las muestras, se realizó de manera indirecta, es decir, con relación de propiedades, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

$$m = \text{masa en gramos}; \quad v = \text{volumen en cm}^3.$$

Así pues, como ejemplo se tiene:

La densidad del metil ester de grasa de pollo (muestra 1), a Tambiente = 27°C

Para un $V_{cte} = 40.0 \text{ cm}^3$, peso del beaker = 28.0415 gr. Peso total = 63.715 gr.

Entonces:

Por diferencia de peso se encuentra el peso de la grasa de pollo como sigue:

$$m_{\text{grasa de pollo}} = m_{\text{total}} - m_{\text{bea ker}} = 63.715 - 28.0415 = 35.6735 \text{ gr.}$$

Por consiguiente la densidad de la muestra de grasa de pollo es:

$$\rho_{\text{grasa de pollo}} = \frac{m}{V} = \frac{35.6735}{40.0} = 0.892 \text{ gr/ml}$$

De la misma manera se procede con las demás muestras, y al final se saca un promedio de ellas.

ANEXO 5.11: DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORIFICA DE LOS METIL ESTERES DE GRASA DE POLLO Y ACEITE USADO DE COCINA.

EJEMPLO DE CÁLCULO:

Para realizar el cálculo del poder calorífico expresado en la ecuación de la sección 9.5.6 para la bomba calorimétrica modelo Parr 1341, se dispusieron de las siguientes variables:

EJEMPLO REALIZADO A ACEITE USADO:

$$a = 9.833 \text{ min. (9:50:00)}$$

$$b = 10.9 \text{ min.} \quad \text{Porque:}$$

$$\Delta T = (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) * 0.6 = (25.78 - 22.9) * 0.6 = 2.86^\circ \text{C}$$

$$\text{Temperatura al 60\% del incremento} = 24.636^\circ \text{C}$$

Ubicando en la figura 5.10.A, este valor de temperatura resulta un valor de $b = 10.9$ min.

$$c = 17.0 \text{ min.}$$

$$ta = 22.94 + 0.004 = 22.944^\circ \text{C}$$

$$tc = 25.78 + 0.008 = 25.788^\circ \text{C}$$

$$r_1 = \frac{(22.94 - 22.92)}{5} = 0.004^\circ \text{C}/\text{min}$$

$$r_2 = \frac{(22.76 - 25.78)}{5} = -0.004^\circ \text{C}/\text{min}$$

$$c_1 = 9.75 \text{ ml}$$

$$e_1 = 9.75 \text{ cal}$$

$$c_2 = 0$$

$$e_2 = 0$$

Puesto que se ha considerado un valor mínimo de contenido de azufre en la muestra igual a 0.05% (lo expresado en la norma ASTM D-6751) por lo que se considera para esta prueba el calor de formación del ácido sulfúrico (H_2SO_4) despreciable.

$$c_3 = 2.1 \text{ cm}$$

$$e_3 = 2.3 * 2.1 = 4.83 \text{ cal}$$

$$W = 2426 \text{ cal}/^\circ C$$

$$m = 686 \text{ gr}$$

Corrección de temperatura:

$$t = tc - ta - r_1 (b - a) - r_2 (c - b)$$
$$t = 25.788 - 22.944 - 0.004 (10.9 - 9.8333) + 0.004 (17 - 10.9)$$
$$t = 2.86413 \text{ }^\circ C$$

Determinando el poder calorífico del metil ester de aceite vegetal usado:

$$H_g = \frac{t * W - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$
$$H_g = \frac{(2.86413 * 24.26) - 9.75 - 0 - 4.83}{0.686}$$

$$H_g = 10,107.5793 \text{ cal}/\text{gr} = 10,107.5793 * 1.801587302 \frac{\text{gr BTU}}{\text{lb cal}} = 18,209.68 \text{ BTU}/\text{lb}$$

Este valor corresponde a temperatura ambiente de 30°C.

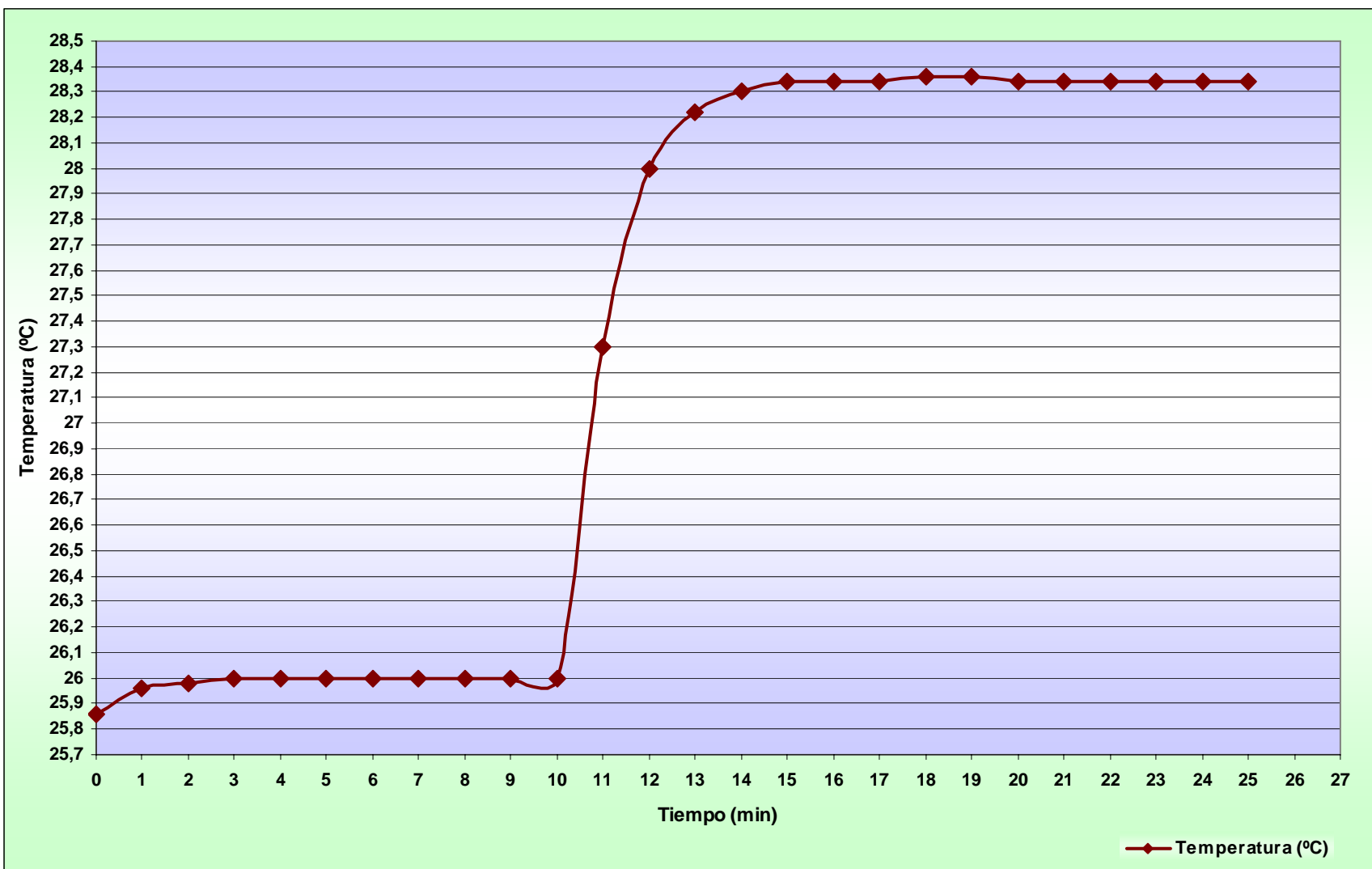


Figura A-5.10.1: Incremento de temperatura para metil ester de grasa de pollo.

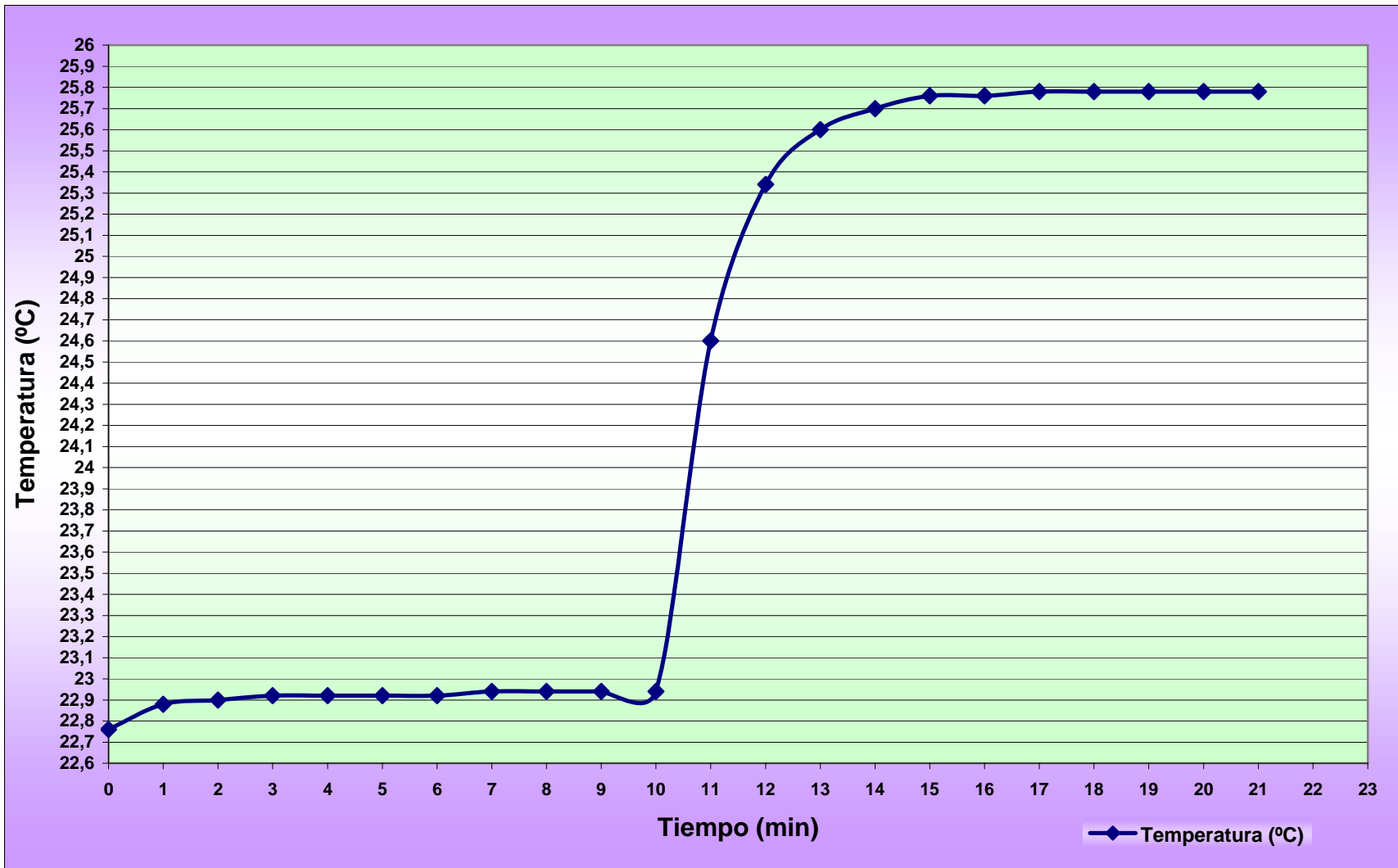


Figura A-5.10.2: Incremento de temperatura para metil ester de aceite vegetal usado.

ANEXO 6.0: NORMAS ASTM EMPLEADAS EN LA ETAPA EXPERIMENTAL.



Designation: D 6751 – 02

An American National Standard

Standard Specification for Biodiesel Fuel (B100) Blend Stock for Distillate Fuels¹

This standard is issued under the fixed designation D 6751; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This specification covers low sulfur biodiesel (B100) for use as a blend component with diesel fuel oils defined by Specification D 975 Grades 1-D, 2-D, and low sulfur 1-D and 2-D.

1.2 Biodiesel may be blended with fuel oils whose sulfur or aromatic levels are outside Specification D 975 Grades 1-D, 2-D, and low sulfur 1-D and 2-D, provided the finished mixture meets pertinent national and local specifications and requirements for these properties.

1.3 This specification, unless otherwise provided by agreement between the purchaser and the supplier, prescribes the required properties of biodiesel fuel at the time and place of delivery.

1.4 Nothing in this specification shall preclude observance of federal, state, or local regulations which may be more restrictive.

NOTE 1—The generation and dissipation of static electricity can create problems in the handling of distillate fuel oils with which biodiesel may be blended. For more information on the subject, see Guide D 4865.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 93 Test Methods for Flash-Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester²
- D 130 Test Method for Detection of Copper Corrosion from Petroleum Products by the Copper Strip Tarnish Test²
- D 189 Test Method for Conradson Carbon Residue of Petroleum Products²
- D 445 Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (the Calculation of Dynamic Viscosity)²
- D 524 Test Method for Ramsbottom Carbon Residue of Petroleum Products²
- D 613 Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil³
- D 664 Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration²

- D 874 Test Method for Sulfated Ash from Lubricating Oils and Additives²
- D 974 Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration²
- D 975 Specification for Diesel Fuel Oils²
- D 976 Test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels²
- D 1160 Test Method for Distillation of Petroleum Products at Reduced Pressure²
- D 1266 Test Method for Sulfur in Petroleum Products (Lamp Method)²
- D 1796 Test Method for Water and Sediment in Fuel Oils by the Centrifuge Method (Laboratory Procedure)²
- D 2274 Test Method for Oxidation Stability of Distillate Fuel Oil (Accelerated Method)²
- D 2500 Test Method for Cloud Point of Petroleum Products²
- D 2622 Test Method for Sulfur in Petroleum Products by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry⁴
- D 2709 Test Method for Water and Sediment in Middle Distillate Fuels by Centrifuge⁴
- D 2880 Specification for Gas Turbine Fuel Oils⁴
- D 3117 Test Method for Wax Appearance Point of Distillate Fuels⁴
- D 3120 Test Method for Trace Quantities of Sulfur in Light Liquid Petroleum Hydrocarbons by Oxidative Microcoulometry⁴
- D 3242 Test Method for Acidity in Aviation Turbine Fuel⁴
- D 3828 Test Method for Flash Point by Small Scale Closed Tester⁴
- D 4057 Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products⁴
- D 4177 Practice for Automatic Sampling of Petroleum and Petroleum Products⁴
- D 4294 Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry⁴
- D 4530 Test Method for Determination of Carbon Residue (Micro Method)⁴
- D 4737 Test Method for Calculated Cetane Index by Four Variable Equation⁴
- D 4865 Guide for Generation and Dissipation of Static

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.E01 on Burner, Diesel, Non-Aviation Gas Turbine and Marine Fuels.

Current edition approved Jan. 10, 2002. Published February 2002. Originally published as PS 121 – 99.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.05.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.02.

Electricity in Petroleum Fuel Systems⁴

- D 4951 Test Method for Determination of Additive Elements in Lubricating Oils by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry⁵
- D 5453 Test Method for Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Motor Fuels and Oils by Ultraviolet Fluorescence⁵
- D 6217 Test Method for Particulate Contamination in Middle Distillate Fuels by Laboratory Filtration⁶
- D 6450 Test Method for Flash Point by Continuously Closed Cup (CCCFP) Tester⁶
- D 6469 Guide for Microbial Contamination in Fuels and Fuel Systems⁶
- D 6584 Test Method for Determination of Free and Total Glycerine in B-100 Biodiesel Methyl Esters by Gas Chromatography⁶

2.2 Government Standard:

- 40 CFR Part 79 Registration of Fuels and Fuel Additives Section 211(b) Clean Air Act⁷

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *biodiesel, n*—a fuel comprised of mono-alkyl esters of long chain fatty acids derived from vegetable oils or animal fats, designated B100.

3.1.1.1 *Discussion—Biodiesel*, as defined above, is registered with the U.S. EPA as a fuel and a fuel additive under Section 211(b) of the Clean Air Act. There is, however, other usage of the term biodiesel in the marketplace. Due to its EPA registration and the widespread commercial use of the term biodiesel in the U.S. marketplace, the term biodiesel will be maintained for this specification.

3.1.1.2 *Discussion—Biodiesel* is typically produced by a reaction of a vegetable oil or animal fat with an alcohol such as methanol or ethanol in the presence of a catalyst to yield mono-alkyl esters and glycerin, which is removed. The finished biodiesel derives approximately 10 % of its mass from the reacted alcohol. The alcohol used in the reaction may or may not come from renewable resources.

3.1.2 *biodiesel blend, BXX, n*—a blend of biodiesel fuel with petroleum-based diesel fuel.

3.1.2.1 *Discussion—*In the abbreviation BXX, the XX represents the volume percentage of biodiesel fuel in the blend.

3.1.3 *biodiesel fuel, n*—synonym for *biodiesel*.

3.1.4 *diesel fuel, n*—a light or middle petroleum distillate fuel.

3.1.5 *free glycerin, n*—a measure of the amount of glycerin remaining in the fuel.

3.1.6 *total glycerin, n*—the sum of the free glycerin and the glycerin portion of any unreacted or partially reacted oil or fat.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.03.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.04.

⁷ Available from Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

4. Requirements

4.1 The biodiesel specified shall be mono-alkyl esters of long chain fatty acids derived from vegetable oils and animal fats.

4.2 Unless otherwise specified, samples for analysis shall be taken by the procedure described in Practices D 4057 or D 4177.

4.3 The biodiesel specified shall conform to the detailed requirements shown in Table 1.

NOTE 2—A considerable amount of experience exists in the U.S. with a 20 % blend of biodiesel, primarily produced from soybean oil, with 80 % diesel fuel (B20). Experience with biodiesel produced from animal fat and other oils is similar. Although biodiesel (B100) can be used, blends of over 20 % biodiesel with diesel fuel (B20) should be evaluated on a case by case basis until further experience is available.

NOTE 3—In certain items of fuel injection equipment in compression ignition engines, such as rotary/distributor fuel pumps and injectors, the fuel functions as a lubricant as well as a source for combustion. Blending biodiesel fuel with petroleum based compression-ignition fuel typically improves fuel lubricity.

NOTE 4—The use of biodiesel or biodiesel blends in and of itself will not void fuel injection equipment (FIE) warranties. Fuel injection equipment manufacturers, however, can accept no legal liability for failures attributed to operating their products with fuels for which their products were not designed or with fuels not meeting agreed-to standards. Some FIE manufacturers have special equipment designed for high blends of biodiesel, including B100. The FIE manufacturers should always be consulted regarding the application limits of their products.

5. Test Methods

5.1 The requirements enumerated in this specification shall be determined in accordance with the following methods.

5.1.1 *Flash Point*—Test Methods D 93, except where other methods are prescribed by law. Test Methods D 3828 or D 6450 can also be used. The precision and bias of Test

TABLE 1 Detailed Requirements for Biodiesel (B100)^A

Property	Test Method ^B	Limits	Units
Flash point (closed cup)	D 93	130.0 min	°C
Water and sediment	D 2709	0.050 max	% volume
Kinematic viscosity, 40°C	D 445	1.9–6.0 ^C	mm ² /s
Sulfated ash	D 874	0.020 max	% mass
Sulfur ^D	D 5453	0.05 max	% mass
Copper strip corrosion	D 130	No. 3 max	
Cetane number	D 613	47 min	
Cloud point	D 2500	Report ^E	°C
Carbon residue ^F	D 4530	0.050 max	% mass
Acid number	D 664	0.80 max	mg KOH/g
Free glycerin	D 6584	0.020	% mass
Total glycerin	D 6584	0.240	% mass
Phosphorus content	D 4951	0.001 max	% mass
Distillation temperature, Atmospheric equivalent temperature, 90 % recovered	D 1160	360 max	°C

^A To meet special operating conditions, modifications of individual limiting requirements may be agreed upon between purchaser, seller, and manufacturer.

^B The test methods indicated are the approved referee methods. Other acceptable methods are indicated in 5.1.

^C See X1.3.1. The 6.0 mm²/s upper viscosity limit is higher than petrodiesel and should be taken into consideration when blending.

^D Other sulfur limits can apply in selected areas in the United States and in other countries.

^E The cloud point of biodiesel is generally higher than petrodiesel and should be taken into consideration when blending.

^F Carbon residue shall be run on the 100 % sample (see 5.1.10).

Methods D 3828 and D 6450 with biodiesel is not known and is currently under investigation. Test Method D 93 shall be the referee method.

5.1.2 *Water and Sediment*—Test Method D 2709. Test Method D 1796 may also be used. Test Method D 2709 shall be the referee method. The precision and bias of these test methods with biodiesel is not known and is currently under investigation.

5.1.3 *Viscosity*—Test Method D 445.

5.1.4 *Sulfated Ash*—Test Method D 874.

5.1.5 *Sulfur*—Test Method D 5453. Other test methods may also be suitable for determining up to 0.05 % sulfur in biodiesel fuels such as Test Methods D 1266, D 2622, D 3120 and D 4294 but may provide falsely high results (see X1.5) although their precision and bias with biodiesel is unknown. Test Method D 5453 shall be the referee test method.

5.1.6 *Corrosion*—Test Method D 130, 3 h test at 50°C.

5.1.7 *Cetane Number*—Test Method D 613.

5.1.8 *Cloud Point*—Test Method D 2500. Test Method D 3117 may also be used because the two are closely related. Test Method D 2500 shall be the referee test method. The

precision and bias of these test methods for biodiesel is not known and is currently under investigation.

5.1.9 *Acid Number*—Test Method D 664. Test Methods D 3242 or D 974 may also be used. Test Method D 664 shall be the referee test method.

5.1.10 *Carbon Residue*—Test Method D 4530. A 100 % sample shall replace the 10 % residual, with percent residue in the original sample reported using the 10 % residual calculation (see X1.9.1). Test Methods D 189 or D 524 may also be used. Test Method D 4530 shall be the referee method.

5.1.11 *Total Glycerin*—Test Method D 6584.

5.1.12 *Free Glycerin*—Test Method D 6584.

5.1.13 *Phosphorus Content*—Test Method D 4951.

5.1.14 *Distillation Temperature, Reduced Pressure*—Test Method D 1160.

6. Workmanship

6.1 The biodiesel fuel shall be visually free of undissolved water, sediment, and suspended matter.

7. Keywords

7.1 alternative fuel; biodiesel fuel; diesel fuel oil; fuel oil; renewable resource; specification

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. SIGNIFICANCE OF PROPERTIES SPECIFIED FOR BIODIESEL FUEL

X1.1 Introduction

X1.1.1 The properties of commercial biodiesel fuel depends upon the refining practices employed and the nature of the renewable lipids from which it is produced. Biodiesel, for example, can be produced from a variety of vegetable oils or animal fats which produce similar volatility characteristics and combustion emissions with varying cold flow properties.

X1.2 Flash Point

X1.2.1 The flash point for biodiesel is used as the mechanism to limit the level of unreacted alcohol remaining in the finished fuel.

X1.2.2 The flash point is also of importance in connection with legal requirements and safety precautions involved in fuel handling and storage, and is normally specified to meet insurance and fire regulations.

X1.2.3 The flash point specification for biodiesel is intended to be 100°C minimum. Typical values are over 160°C. Due to high variability with Test Method D 93 as the flash point approaches 100°C, the flash point specification has been set at 130°C minimum to ensure an actual value of 100°C minimum. Improvements and alternatives to Test Method D 93 are being investigated. Once complete, the specification of 100°C minimum may be re-evaluated.

X1.3 Viscosity

X1.3.1 For some engines it may be advantageous to specify a minimum viscosity because of power loss due to injection

pump and injector leakage. Maximum allowable viscosity, on the other hand, is limited by considerations involved in engine design and size, and the characteristics of the injection system. The upper limit for the viscosity of biodiesel (6.0 mm²/s at 40°C) is higher than the maximum allowable viscosity in Specification D 975 Grade 2-D and 2-D low sulfur (4.1 mm²/s at 40°C). Blending biodiesel with diesel fuel close to its upper limit could result in a biodiesel blend with viscosity above the upper limits contained in Specification D 975.

X1.4 Sulfated Ash

X1.4.1 Ash-forming materials may be present in biodiesel in three forms: (1) abrasive solids, (2) soluble metallic soaps, and (3) unremoved catalysts. Abrasive solids and unremoved catalysts can contribute to injector, fuel pump, piston and ring wear, and also to engine deposits. Soluble metallic soaps have little effect on wear but may contribute to filter plugging and engine deposits.

X1.5 Sulfur

X1.5.1 The effect of sulfur content on engine wear and deposits appears to vary considerably in importance and depends largely on operating conditions. Fuel sulfur can also affect emissions control systems performance and various limits on sulfur have been imposed for environmental reasons. B100 is essentially sulfur-free.

Note X1.1—Test Method D 5453 should be used with biodiesel. Use of

other test methods may provide falsely high results when analyzing B100 with extremely low sulfur levels (less than 5 ppm). Biodiesel sulfur analysis from RR D02-1480⁸, *Biodiesel Fuel Cetane Number Testing Program, January-April, 1999*, using Test Method D 2622 yielded falsely high results due to the presence of the oxygen in the biodiesel. Sulfur results using Test Method D 2622 were more accurate with B20 than with B100 due to the lower oxygen content of B20. Potential improvements to Test Method D 2622 may provide more accurate values in the future.

X1.6 Copper Strip Corrosion

X1.6.1 This test serves as a measure of possible difficulties with copper and brass or bronze parts of the fuel system. The presence of acids or sulfur-containing compounds can tarnish the copper strip, thus indicating the possibility for corrosion.

X1.7 Cetane Number

X1.7.1 Cetane number is a measure of the ignition quality of the fuel and influences white smoke and combustion roughness. The cetane number requirements depend on engine design, size, nature of speed and load variations, and on starting and atmospheric conditions.

X1.7.2 The calculated cetane index, Test Methods D 976 or D 4737, may not be used to approximate the cetane number with biodiesel or its blends. There is no substantiating data to support the calculation of cetane index with biodiesel or biodiesel blends.

X1.8 Cloud Point

X1.8.1 Cloud point is of importance in that it defines the temperature at which a cloud or haze of crystals appears in the fuel under prescribed test conditions which generally relates to the temperature at which crystals begin to precipitate from the fuel in use. Biodiesel generally has a higher cloud point than petrodiesel. The cloud point of biodiesel and its impact on the cold flow properties of the resulting blend should be monitored by the user to ensure trouble-free operation in cold climates. For further information, consult Appendix X4 of Specification D 975.

X1.9 Carbon Residue

X1.9.1 Carbon residue gives a measure of the carbon depositing tendencies of a fuel oil. While not directly correlating with engine deposits, this property is considered an approximation. Although biodiesel is in the distillate boiling range, most biodiesel boils at approximately the same temperature and it is difficult to leave a 10 % residual upon distillation. Thus, a 100 % sample is used to replace the 10 % residual sample, with the calculation executed as if it were the 10 % residual. Parameter E (final weight flask charge/original weight flask charge) in 8.1.2 of Test Method D 4530-93 is a constant 20/200.

X1.10 Acid Number

X1.10.1 The acid number is used to determine the level of free fatty acids or processing acids that may be present in

biodiesel. Biodiesel with a high acid number has been shown to increase fueling system deposits and may increase the likelihood for corrosion.

NOTE X1.2—Acid number measures a different phenomenon for biodiesel than petrodiesel. The acid number for biodiesel measures free fatty acids or degradation by-products not found in petrodiesel. Increased recycle temperatures in new fuel system designs may accelerate fuel degradation which could result in high acid values and increased filter plugging potential.

X1.11 Free Glycerin

X1.11.1 The free glycerin method is used to determine the level of glycerin in the fuel. High levels of free glycerin can cause injector deposits, as well as clogged fueling systems, and result in a buildup of free glycerin in the bottom of storage and fueling systems.

X1.12 Total Glycerin

X1.12.1 The total glycerin method is used to determine the level of glycerin in the fuel and includes the free glycerin and the glycerine portion of any unreacted or partially reacted oil or fat. Low levels of total glycerin ensure that high conversion of the oil or fat into its mono-alkyl esters has taken place. High levels of mono-, di-, and triglycerides can cause injector deposits and may adversely affect cold weather operation and filter plugging.

X1.13 Phosphorus Content

X1.13.1 Phosphorus can damage catalytic converters used in emissions control systems and its level must be kept low. Catalytic converters are becoming more common on diesel-powered equipment as emissions standards are tightened, so low phosphorus levels will be of increasing importance. Biodiesel produced from U.S. sources has been shown to have low phosphorus content (below 1 ppm) and the specification value of 10 ppm maximum is not problematic. Biodiesel from other sources may or may not contain higher levels of phosphorus and this specification was added to ensure that all biodiesel, regardless of the source, has low phosphorus content.

X1.14 Reduced Pressure Distillation

X1.14.1 Biodiesel exhibits a boiling point rather than a distillation curve. The fatty acids chains in the raw oils and fats from which biodiesel is produced are mainly comprised of straight chain hydrocarbons with 16 to 18 carbons that have similar boiling temperatures. The atmospheric boiling point of biodiesel generally ranges from 330 to 357°C, thus the specification value of 360°C is not problematic. This specification was incorporated as an added precaution to ensure the fuel has not been adulterated with high boiling contaminants.

NOTE X1.3—The density of biodiesel meeting the specifications in Table 1 falls between 0.86 and 0.90, with typical values falling between 0.88 and 0.89. Since biodiesel density falls between 0.86 and 0.90, a separate specification is not needed. The density of raw oils and fats is similar to biodiesel, therefore use of density as an expedient check of fuel quality may not be as useful for biodiesel as it is for petrodiesel. This section has been added to provide users and engine interests with this information.

⁸ Supporting data are available from ASTM International Headquarters. Request RR: D02-1480.

X2. LONG-TERM STORAGE OF BIODIESEL

X2.1 Scope

X2.1.1 This appendix provides guidance for consumers of biodiesel (B100) who may wish to store quantities of fuels for extended periods. Consistently successful long-term fuel storage requires attention to fuel selection, storage conditions, and monitoring of properties prior to and during storage. This appendix is directed toward biodiesel (B100) and may be more or less applicable to blends of biodiesel with petrodiesel.

X2.1.2 Normally produced biodiesel has adequate stability properties to withstand normal storage without the formation of troublesome amounts of insoluble degradation products, although data suggests some biodiesels may degrade faster than petrodiesel. Biodiesel that is to be stored for prolonged periods should be selected to avoid formation of sediments, high acid numbers, and high viscosities that can clog filters, affect fuel pump operation or plug combustor nozzles or injectors. The selection of biodiesel should result from supplier-user discussions.

X2.1.3 These suggested practices are general in nature and should not be considered substitutes for any requirement imposed by the warranty of the distillate fuel equipment manufacturers or by federal, state, or local government regulations. Although they cannot replace knowledge of local conditions or good engineering and scientific judgment, these suggested practices do provide guidance in developing an individual fuel management system for the biodiesel fuel user. They include suggestions in the operation and maintenance of existing fuel storage and handling facilities and for identifying where, when, and how fuel quality should be monitored.

X2.2 Terminology

X2.2.1 *bulk fuel*—fuel in the storage facility in quantities over 50 gallons.

X2.2.2 *combustor fuel*—fuel entering the combustion zone of the burner or engine after filtration or other treatment of bulk fuel.

X2.2.3 *fuel contaminants*—foreign materials that make fuel less suitable or unsuitable for the intended use. Fuel contaminants include materials introduced subsequent to the manufacture of fuel and fuel degradation products.

X2.2.4 *fuel-degradation products*—those materials formed in fuel after it is produced. Insoluble degradation products may combine with other fuel contaminants to reinforce deleterious effects. Soluble degradation products (acids and gums) may be more or less volatile than the fuel and may cause an increase in injector and nozzle deposits. The formation of degradation products may be catalyzed by contact with metals, especially those containing copper and, to a lesser extent, iron.

X2.2.5 *long-term storage*—storage of fuel for longer than 6 months after it is received by the user.

X2.3 Fuel Selection

X2.3.1 The stability properties of biodiesel are not fully understood and appear to depend on the vegetable oil and animal fat sources, severity of processing, and whether addi-

tional production plant treatment has been carried out or stability additives are present.

X2.3.2 The composition and stability properties of biodiesel produced at specific production plants may be different. Any special requirements of the user, such as long-term storage, should be discussed with the supplier.

X2.4 Fuel Additives

X2.4.1 Available fuel additives appear to improve the long term storage of biodiesel. Most additives should be added as close to the production site as possible to obtain maximum benefits.

X2.4.2 Biocides or biostats destroy or inhibit the growth of fungi and bacteria which can grow at fuel-water interfaces to give high particulate concentrations in the fuel. Available biocides are soluble in the fuel phase or the water phase, or both. Refer to Guide D 6469 for a more complete discussion.

X2.5 Tests for Fuel Quality

X2.5.1 Test methods for estimating the storage stability of biodiesel (B100) are being developed. Modifications of Test Method D 2274 to use glass fiber filters, varying times and temperatures, and the measurement of pre-test and post-test acid number and viscosity appear promising. However, correlation of this test with actual storage stability is unknown, and may depend upon field conditions and fuel composition.

X2.5.2 Performance criteria for accelerated stability tests that ensure satisfactory long-term storage of biodiesel (B100) have not been established.

X2.6 Fuel Monitoring

X2.6.1 A plan for monitoring the quality of bulk fuel during prolonged storage is an integral part of a successful monitoring program. A plan to replace aged fuel with fresh product at established intervals is also desirable.

X2.6.2 Stored fuel should be periodically sampled and its quality assessed. Practice D 4057 provides guidance for sampling. Fuel contaminants and degradation products may settle to the bottom of a quiescent tank although detrimental changes to biodiesel can occur (rising acid value) without causing sediment formation. A *Bottom* or *Clearance* sample, as defined in Practice D 4057, should be included in the evaluation along with an *All Level* sample.

X2.6.3 The quantity of insoluble fuel contaminants present in biodiesel can be determined using Test Method D 6217 with glass fiber filters and abundant washing although no precision or bias testing has been performed with biodiesel using Test Method D 6217.

X2.6.4 The acid value of biodiesel appears to exceed its specified maximum before other deleterious fuel property changes occur. A conscientious program of measuring the acid value of biodiesel may be sufficient for monitoring biodiesel stability.

X2.7 Fuel Storage Conditions

X2.7.1 Contamination levels in fuel can be reduced by storage in tanks kept free of water, and tankage should have provisions for water draining on a scheduled basis. Water promotes corrosion, and microbiological growth may occur at a fuel-water interface. Refer to Guide D 6469 for a more complete discussion. Underground or isothermal storage is preferred to avoid temperature extremes; above-ground storage tanks should be sheltered or painted with reflective paint. High storage temperatures accelerate fuel degradation. Fixed roof tanks should be kept full to limit oxygen supply and tank

breathing. The use of air-tight sealed containers, such as drums or totes, can enhance the storage life of biodiesel.

X2.7.2 Copper and copper-containing alloys should be avoided with biodiesel due to increased sediment and deposit formation. Contact with lead, tin, and zinc can also cause increased sediment levels that can rapidly plug filters and should be avoided.

X2.7.3 Appendix X3 of Specification D 2880 discusses fuel contaminants as a general topic. The discussion in Specification D 2880 pertains to gas turbine combustion which may or may not be applicable to diesel engine combustion.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Water and Sediment in Middle Distillate Fuels by Centrifuge¹

This standard is issued under the fixed designation D 2709; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the listing in the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the volume of free water and sediment in middle distillate fuels having viscosities at 40°C (104°F) in the range of 1.0 to 4.1 mm²/s (1.0 to 4.1 cSt) and densities in the range of 870 to 900 kg/m³.

NOTE 1—Fuels corresponding to Specification D 975 Grades 1D and 2D, Specification D 2880 Grades 0-GT, 1-GT and 2-GT, and Specification D 3699 Grades 1-K and 2-K will usually fail in this viscosity and density range. Test Method D 1796 is intended for higher viscosity fuel oils.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parenthesis are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the application of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 396 Specification for Fuel Oils²
- D 975 Specification for Diesel Fuel Oils²
- D 1796 Test Method for Water and Sediment in Fuel Oils by the Centrifuge Method (Laboratory Procedure)²
- D 2880 Specification for Gas Turbine Fuel Oils³
- D 3699 Specification for Kerosine³
- D 4057 Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products³

3. Terminology

3.1 Description of Term Specific to This Standard:

3.1.1 *distillate fuel*—a virgin or cracked or blend of virgin and cracked distillate having a flash point greater than 38°C.

4. Summary of Test Method

4.1 A 100-mL sample of the undiluted fuel is centrifuged at a relative centrifugal force of 800 for 10 min. at 21 to 32°C (70 to 90°F) in a centrifuge tube readable to 0.005 mL and measurable to 0.01 mL. After centrifugation, the volume of

TABLE 1 Rotation Speeds Applicable for Centrifuges of Various Diameters of Swing

Diameters of Swing ^A		Rpm at 500 rcf	Rpm at 800 rcf
in.	cm		
12	30.5	1710	2160
13	33.0	1650	2080
14	35.6	1590	2000
15	38.1	1530	1930
16	40.6	1480	1870
17	43.2	1440	1820
18	45.7	1400	1770
19	48.3	1360	1720
20	50.8	1330	1680
21	53.3	1300	1640
22	55.9	1270	1600
23	58.4	1240	1560
24	61.0	1210	1530

^A Measured between tips of opposite tubes when in rotating position.

water and sediment which has settled into the tip of the centrifuge tube is read to the nearest 0.005 mL and reported as the volumetric percent water and sediment by centrifuge.

5. Significance and Use

5.1 This test method is used as an indication of water and sediment in middle distillate fuels such as Grades Nos. 1 and 2 fuel oil, (Specification D 396) Nos. 1-D and 2-D diesel fuel, (Specification D 975) and Nos. 0-GT, 1-GT, and 2-GT gas turbine fuels (Specification D 2880).

5.2 Appreciable amounts of water and sediment in a fuel oil tend to cause fouling of the fuel-handling facilities and to give trouble in the fuel system of a burner or engine. An accumulation of sediment in storage tanks and on filter screens can obstruct the flow of oil from the tank to the combustor. Water in middle distillate fuels can cause corrosion of tanks and equipment, and if detergent is present, the water can cause emulsions or a hazy appearance. Water is necessary to support microbiological growth at fuel water-interfaces in fuel systems.

6. Apparatus

6.1 *Centrifuge*, capable of whirling two or more filled centrifuge tubes at a speed which can be controlled to give a relative centrifugal force (rcf) of 800 ± 60 at the tip of the tubes. The revolving head, trunnion rings, and trunnion cups, including the cushions, are to be soundly constructed to withstand the maximum centrifugal force capable of being delivered by the power source. The trunnion cups and cushions shall support the tubes when the centrifuge is in motion. The centrifuge shall be enclosed by a metal shield or

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-2 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.05 on Properties of Fuels, Petroleum Coke and Oil Shale.

Current edition approved January 10, 1996. Published March 1996. Originally published as D 2709 – 68. Last previous edition D 2709 – 93.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.02.

case strong enough to eliminate danger if any breakage occurs.

6.2 The data in Table 1 can be used to determine the centrifuge speed setting required for the centrifuge to meet relative centrifugal force requirements for this method and was developed using the following equation:

$$\text{rpm} = 265 \sqrt{\text{rcf}/d} \quad (1)$$

where:

rcf = relative centrifugal force, and

d = diameter of swing, in centimetres, measured between tips of opposite tubes when in rotating position.

6.3 *Centrifuge Tube*, cone-shaped, 100-mL with capillary tip capable of measuring 0.01 mL⁴ and readable by estimation to 0.005 %.

6.4 *Centrifuge Tube*, pear-shaped,⁵ 100-mL, with tube tip having graduations of 0.01 mL⁵ over the range 0 to 0.2 mL.

7. Sampling

7.1 Sampling shall be consistent with the procedures of Practice D 4057.

7.2 The sample for a laboratory test will normally be an aliquot of a much larger sample taken for full or partial specification testing. The full sample should have been taken by a procedure consistent with Practice D 4057. Allow the sample container and its content to equilibrate between 21 to 32°C (70 to 90°F). In general, the chosen laboratory test temperature should not be lower than that at which the fuel is stored or used as too low a temperature may cause free water haze to form from additional free water formation.

8. Procedure

8.1 *Temperature Control*—After the sample container and its contents have equilibrated to laboratory temperature, between 70 to 90°F (21 to 32°C), agitate the full sample by hand or preferably by a mechanical shaker for 10 min to ensure homogeneity. (Warning—see Note 2).

NOTE 2: Warning—Flammable.

⁴ Satisfactory tubes readable to 0.05 mL and capable of measuring to the nearest 0.01 mL are available from Stanhope-Seta, Park Close, Englefield Green, Egham, Surrey, TW 20 0YD, England or their U.S. distributors and Kimble, 537 Crystal Ave., Vineland, NJ 08360. Other sources may be available but are not known at this time.

⁵ Precision data for this test used pearshaped tubes. Satisfactory tubes readable to 0.005 mL by interpolation and measurable markings at the nearest 0.01 mL over the range 0 to 0.2 mL are available from Fisher Scientific, 711 Forbes Ave. Pittsburgh, PA 15219-4785, and Reliance Glass Texas, 1605 Community Drive, Pasadena, TX 77501.

8.2 As soon as possible, to prevent losing any water or sediment, fill the centrifuge tube to the 100-mL mark directly from the sample container. Stopper and place in a trunnion cup opposite another filled tube to establish a balanced condition, and whirl 10 min at a speed sufficient to produce a relative centrifugal force (rcf) of 800 ± 60 at the tip of the whirling tubes. (For the relationship between diameter of swings, rcf, and rpm, see Table 1.) Record the combined water and sediment at the bottom of the tube to the nearest 0.005 mL.

9. Report

9.1 Report the volume of the combined water and sediment read from the tube as the percentage of the total sample, since a 100-mL sample was used. Report results lower than 0.005 % as either 0 or 0.005 volume %.

10. Precision and Bias⁶

10.1 *Precision*⁶—The precision of the procedure in this test method, for measuring the volume percent amount of combined water and sediment in middle distillate fuels by centrifuge was determined by a round robin test program performed by six individuals using 13 samples at a common site.

10.1.1 *Repeatability*—The difference between successive measured volume percent amounts of combined water and sediment obtained by the same operator using the same centrifuge and type of pear shaped tube under constant operating conditions on identical distillate fuel samples at the same site would, in the long run and in the normal and correct operation of the test method, exceed 0.014 volume percent in one case in twenty.

10.1.2 *Reproducibility*—The difference between two single independent measurements of volume percent amounts of combined water and sediment obtained by different operator/centrifuge pairs using the same type of pear shaped tube on identical distillate fuel samples at the same site would, in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed 0.041 volume percent in one case in twenty.

10.2 *Bias*⁶—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for this procedure for measuring water, the bias is not available for this test method.

11. Keywords

11.1 centrifuge; centrifuge tube; distillate fuel; water and sediment

⁶ Supporting data is on file at ASTM Headquarters. Request RR: D02-1308.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.



Standard Test Method for Determination of Free Fatty Acids Contained in Animal, Marine, and Vegetable Fats and Oils Used in Fat Liquors and Stuffing Compounds¹

This standard is issued under the fixed designation D 5555; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the free fatty acid content of fats and oils.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Significance and Use

2.1 This test method is intended for the determination of the free fatty acids contained in animal, marine, and vegetable fats and oils for the purpose of quality assurance.

3. Apparatus and Reagents

3.1 *Oil Sample Bottles*, 115 or 230 mL (4 or 8 oz) or 250 mL Erlenmeyer flasks.

3.2 *Ethyl Alcohol*, 95 %. The alcohol shall give a definite, distinct, and sharp end-point with phenolphthalein and shall be neutralized with alkali to a faint but permanent pink color just before using. (Isopropanol, 99 %, may be used as an alternate solvent with crude and refined vegetable oils.)

3.3 *Phenolphthalein Indicator Solution*, 1 % in 95 % alcohol.

3.4 *Sodium Hydroxide Solution*, accurately standardized.

4. Procedure

4.1 Use Table 1 to determine the quantities to be used with various ranges of fatty acids.

4.2 The sample shall be entirely liquid and well mixed before weighing. Then weigh the designated sample size into

TABLE 1 Suggested Quantity of Material to Test

Sample, g	Alcohol, mL	Normality of Alkali	Free Fatty Acid Range (%)
56.4 \pm 0.2	50	0.1	0.0 to 0.2
28.2 \pm 0.2	50	0.1	0.2 to 1.0
7.05 \pm 0.05	75	0.25	1.0 to 30.0
7.05 \pm 0.05	100	0.25 or 1.0	30.0 to 50.0
3.525 \pm 0.001	100	1.0	50.0 to 100.0

an oil-sample bottle or Erlenmeyer flask; add to that the specified amount of hot, neutralized alcohol and 2 mL of indicator.

4.3 Shaking vigorously, make the titration with alkali to the appearance of the first permanent pink color of the same intensity as that of the neutralized alcohol before adding the sample. The color shall persist for 30 s.

5. Calculation and Report

5.1 Report the free fatty acids in percent, by weight:

$$\% \text{ free fatty acids} = \frac{\text{mL of alkali} \times N \times 28.2}{\text{weight of sample}}$$

5.2 Reference this test method in the test report.

5.3 The free fatty acids are frequently expressed in terms of acid value instead of percent free fatty acids. The acid value is defined as the number of milligrams of KOH necessary to neutralize 1 g of sample. To convert percent free fatty acids (as oleic) to acid value, multiply the former by 1.99.

6. Precision and Bias


6.1 This test method is adopted from the procedures of the American Leather Chemists Association where it has long been in use and was approved for publication before the inclusion of precision and bias statements was mandated. The original interlaboratory test data are no longer available. The user is cautioned to verify by the use of reference materials, if available, that the precision and bias (or reproducibility) of this test method is adequate for the contemplated use.

7. Keywords

7.1 fats and oils; free fatty acids; leather

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-31 on Leather and is the direct responsibility of Subcommittee D31.06.02 on Fats and Oils. This test method was developed in cooperation with the American Leather Chemists Assn. (Method H 30-1957).

Current edition approved May 15, 1995. Published July 1995. Originally published as D 5555 - 94. Last previous edition D 5555 - 94.

 D 5555

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.