

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



TESIS

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE
BIODIÉSEL A BASE DE ACEITES DOMÉSTICOS AREQUIPA - 2016**

PRESENTADO POR EL BACHILLER
JONATHAN AVENDAÑO SUAQUITA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INDUSTRIAL

AREQUIPA – PERÚ

2017

*A mi mamá y a mi abuelita,
quienes siempre me apoyan e impulsan
a ser cada vez mejor.*

*A la Universidad Alas Peruanas por ser mi alma mater,
quien junto a sus docentes me motivaron y
me dieron la ayuda necesaria para la
realización de esta investigación*

RESUMEN

El proyecto tuvo por finalidad la prefactibilidad de la planta piloto para el tratamiento de aceites orgánicos domésticos que quedan de residuo en cada vivienda, y pueda evitar así la contaminación del agua pues en muchos casos son arrojados a los sistemas de alcantarillado. Por tanto, primero se estudió la zona para instalar la planta, siendo en la Urb. Manuel Prado-Calle Fátima 122 del distrito de PAUCARPATA y las viviendas a estudiar fue con un total de 20 manzanas, de las cuales el 80% de las viviendas participaron del proyecto guardando el aceite residual para el postratamiento. En total, se obtuvo la cantidad promedio de 200.8 litros por mes de aceite residual y se trabajó en 4 partes de 50.2 litros por semana.

Para la verificación del tratamiento, se realizaron pruebas con aceite recolectado y este mismo fue convertido a BIODIÉSEL el cual es una opción en combustible para encender motores diésel. El producto obtenido fue llevado a una zona de agricultores en donde se desarrollaron pruebas y de algunos de ellos indican que sí podrían comprar el biodiesel producido de tal manera apoyarían al cuidado del medio ambiente. De tal modo, se calcula que se puede producir un total de 10.16 galones por semana, que serían vendidos a los agricultores, haciendo sustentable trabajar en el proyecto.

Considerando la opción de la construcción de los equipos en talleres de Arequipa y las modificaciones e implementaciones en el lugar donde se podría instalar, el estudio arrojó un total de 5 478.9 dólares americanos que se requieren para la instalación y serían cubiertos por inversión propia o a través de un préstamo de la Caja Arequipa. Si la inversión es propia, se recupera a los 2 años y 6 meses luego de la puesta en marcha de la planta; pero para el caso del préstamo no es viable la planta pues debido a los intereses generados, tardaría mucho tiempo recuperar el capital invertido.

Palabras Clave: *Biodiésel, diésel, aceite vegetal, aceite doméstico, biocombustibles, aceite residual.*

ABSTRACT

The project aims at the pre-feasibility of a pilot plant for the treatment of domestic organic oils that remain of residue in each dwelling, and can thus avoid contamination in water since in many cases they are thrown to the systems of sewerage. Therefore, as a first step, the area where the pipe was installed was easy to install, being in the Urb. Manuel Prado-Street Fatima 122 in the district of PAUCARPATA and the housing to study was around him making a total of 20 blocks, Making a survey was obtained 80% of the houses that if they would participate in the project so that they would save the residual oil for its post-treatment, In total an average amount of 200.8 liters per month of residual oil is obtained and they would work in 4 Parts of 50.2 liters per week.

For the verification of the treatment of tests carried out with oil collected and converted to BIODIESEL which is an option in fuel to ignite diesel engines, the product obtained was taken to an area of farmers where tests were developed and the same farmers Was found the support of some of them that indicate that if they could buy the biodiesel produced in such a way would support the care of the environment. Thus it is estimated that a total of 10.16 gallons per week could be produced, and would be sold to the farmers, making the project work.

Considering the option of the construction of the equipment in Arequipa workshops and the modifications and implementations in the place where it could be installed, the study yielded a total of 5478.9 US dollars that are required for the installation, which is considered in the study in two Options as it is the case of own investment and amount that can be acquired through a loan by the box Arequipa. The study shows that when it comes to own investment you get a recovery of the capital invested at 2 years and 6 months after the start of the plant, then for the case of the loan the data show that the plant is not viable Due to the interest generated would take a long time to recover the invested capital.

Keywords: *Biodiesel, diesel, vegetable oil, domestic oil, biofuels, residual oil.*

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto comprende el daño que ocasiona el aceite usado doméstico al ser vertido en las redes de alcantarillado; si concientizamos a las personas, podemos lograr el almacén de este para su recolección y así se plantea el diseño de una planta de producción de biodiesel a partir de estos aceites, la cual se convierte en una fuente generadora de ingreso económico.

Pero es necesario estudiar los aceites domésticos desde su composición y las cadenas de carbono que lo conforman para luego estudiar las reacciones químicas que participarán en la elaboración del biodiésel así como la secuencia productiva basada en otras investigaciones, véase en el capítulo dos de la presente investigación.

Parte de este estudio consiste en informar a la población sobre el proyecto y su apoyo en el almacenado de los aceites domésticos utilizados, todo ello por medio de una encuesta a los vecinos.

Según el espacio el cual son de 25m² y el volumen de aceite que se aproximadamente es de 200.8 litros mensuales, entre otras variables, es posible dimensionar y distribuir la planta de producción de biodiésel. Para mayor detalle, leer el cuarto capítulo.

Por último, el estudio económico para la propuesta de la planta de producción del biodiésel proyectado para un total de 5 años, considera el aporte propio y un posible financiamiento a través de Caja Arequipa.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xv
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xviii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xxii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción del problema de investigación.....	1
1.2 Enunciado del problema.....	2
1.3 Delimitación de la investigación.....	2
1.3.1 Social	2
1.3.2 Espacial.....	2
1.3.3 Temporal.....	2
1.4 Formulación del problema de investigación.....	3
1.4.1 Problema general.....	3
1.4.2 Problemas específicos.....	3
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4

1.6 Justificación de la investigación.....	4
1.7 Importancia de la investigación.....	5
1.8 Limitación de la investigación.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1 Antecedentes históricos.....	7
2.1.2 Antecedentes científicos.....	10
2.2 Marco teórico.....	15
2.2.1 Aceites y grasas.....	15
A. Generalidades.....	15
B. Clasificación.....	18
C. Aceites vegetales.....	18
1. Generalidades.....	18
2. Características.....	19
3. Ventajas e inconvenientes del aceite vegetal natural.....	20
a. Ventajas.....	20
b. Inconvenientes.....	20
4. Cambios físicos y químicos del aceite durante el freído.....	20
a. Alteraciones termolíticas.....	21
b. Alteraciones oxidativas.....	21
c. Alteraciones hidrolíticas.....	22
2.2.2 Biocombustibles.....	24
A. Definición.....	24
B. Generaciones.....	25

1. Primera generación.....	25
2. Segunda generación.....	26
3. Tercera generación.....	27
4. Cuarta generación.....	28
C. Obtención de los biocombustibles.....	29
D. Principales biocombustibles.....	30
1. Bioetanol	30
2. Biodiésel	32
3. Biogás.....	34
2.2.3 Biodiésel.....	35
A. Definición.....	35
B. Obtención del biodiésel.....	35
C. Ventajas e inconvenientes.....	36
1. Ventajas.....	36
2. Desventajas.....	40
D. Propiedades del biodiésel.....	43
2.2.4 Producción de biodiésel.....	45
A. Materias primas para la producción de biodiésel.....	45
1. Aceites vegetales convencionales.....	46
2. Aceites vegetales alternativos.....	47
3. Aceites vegetales modificados genéticamente.....	48
4. Aceites de fritura usados.....	48
5. Grasas animales.....	49
6. Aceites de otras fuentes.....	49

7. Otras fuentes.....	49
B. El Biodiésel de aceite usado de cocina.....	50
C. Producción de biodiésel.....	51
1. Materia Prima: aceite vegetal usado (AVU).....	51
2. Valorización del aceite vegetal usado.....	52
a. Materiales	52
b. Procedimiento.....	52
3. Produciendo biodiésel.....	54
a. Materiales.....	54
b. Procedimiento.....	54
4. Lavado del Biodiésel.....	55
a. Equipo.....	55
b. Procedimiento.....	55
5. Deshidratado del biodiésel.....	56
a. Equipo.....	56
b. Procedimiento.....	56
c. Reacciones en la producción de Biodiésel.....	57
1. Reacciones de transesterificación de triglicéridos.....	57
2. Reacciones de esterificación de ácidos grasos.....	60
3. Catalizadores.....	61
4. Variables que afectan a la reacción de transesterificación.....	63
a. Acidez y humedad.....	63
b. Tipo de catalizador y concentración.....	65
c. Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol.....	66

d. Efecto del tiempo de reacción y temperatura.....	67
2.2.5 Procesos en la producción industrial de biodiésel.....	68
A. Proceso general de transesterificación.....	68
1. Proceso discontinuo.....	69
2. Proceso continuo.....	71
3. Proceso de esterificación.....	72
4. Proceso combinado esterificación-transesterificación.....	74
5. Proceso en condiciones supercríticas.....	75
B. Influencia de parámetros físicos y químicos en la transesterificación.....	76
1. Tiempo de reacción.....	76
2. Acidez y humedad.....	77
3. Tipo de catalizador y concentración.....	78
4. Relación molar alcohol: aceite.....	80
5. Temperatura y presión.....	82
2.2.6 Impacto ambiental.....	85
A. Efectos de los biocombustibles en el medio ambiente.....	85
B. Niveles de contaminación en disminución por uso de biocombustibles.....	87
2.3 Definición de términos básicos.....	88
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	
3.1 HIPÓTESIS.....	93
3.2 Identificación y clasificación de las variables.....	93
3.2.1 Variable independiente.....	93
3.2.2 Variable dependiente.....	93
3.3 Operacionalización de las variables.....	94

3.4 Tipo y nivel de la investigación.....	96
3.4.1 Tipo de investigación.....	96
3.4.2 Nivel de investigación.....	96
3.5 Método y diseño de la investigación.....	96
3.5.1 Método de la investigación.....	96
3.5.2 Diseño de la investigación.....	96
3.5.3 Unidad de estudio.....	96
3.5.4 Población.....	97
3.5.5 Muestra.....	97
3.6 Técnicas, instrumentos y fuentes de recolección de datos.....	98
3.6.1. Técnicas.....	98
3.6.2. Instrumentos.....	98
3.6.3. Fuentes.....	98
3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos recolectados.....	98
3.7.1. Técnicas de procesamiento de datos.....	98
3.7.2. Proceso de análisis de datos recolectados.....	98
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
4.1. Generalidades.....	99
4.2 Materia prima.....	100
4.2.1 Disponibilidad de materia prima.....	101
A. Criterio.....	101
B. Análisis de datos.....	103

4.2.2 Área de producción.....	115
4.2.3 Destino de la producción.....	117
4.3 Tamaño.....	117
4.3.1 Tamaño tecnología.....	117
4.3.2 Tamaño de producción.....	120
4.3.3 Tamaño de la inversión.....	121
A. Proforma A.....	122
B. Proforma B.....	123
C. Proforma C.....	124
4.4 Localización.....	125
4.5 Ingeniería del proyecto.....	131
4.5.1 Análisis del Proceso productivo.....	131
A. Recolección del aceite residual.....	134
B. Filtración de aceite residual.....	135
C. Primera transesterificación.....	136
D. Decantación.....	139
E. Segunda Transesterificación.....	141
F. Decantación.....	140
G. Lavado y Clarificado.....	140
H. Envasado.....	142
4.5.2 Pruebas de Calidad del producto.....	143
A. Traslucidez.....	143
B. Comparación de la densidad.....	144
C. Viscosidad cinemática.....	145

1. Viscosímetro de Ostwald.....	146
4.6 diseño del prototipo.....	147
A. Cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento.....	147
B. Especificaciones del tanque de almacenamiento.....	149
C. Cálculo de la potencia del agitador.....	149
1. Cálculo del diámetro del propulsor.....	150
2. Cálculo de la distancia del impulsor a la base del tanque (E).....	150
3. Cálculo del ancho de las paletas (W).....	150
4. Cálculo de los deflectores (J).....	151
4.7 Tamaño de la planta.....	152
4.7.1 Distribución de la planta.....	152
A. Cálculo del área requerida.....	153
a. Superficie estática (Ss).....	153
b. Superficie de gravitación (Sg).....	153
c. Superficie de evolución (Se).....	154
B. Cálculo del área total.....	156
4.8. Impacto ambiental.....	161
CAPÍTULO V: ANÁLISIS ECONÓMICO	
5.1 Generalidades.....	164
5.2 Inversión fija.....	164
5.2.1 Equipo y maquinaria.....	165
5.2.2 Costos directos.....	165
5.2.3 Costos indirectos.....	166
5.2.4 Inversión del capital total.....	167

5.3	Financiamiento.....	168
5.4	Presupuestos.....	173
5.4.1	Ingresos.....	173
5.4.2	Egresos.....	174
5.4.2.1	Costos directos.....	174
a)	Costo de la materia prima directa.....	175
b)	Mano de obra directa.....	175
c)	Costos directos totales.....	176
5.4.2.2	Costos indirectos.....	176
5.5	Rentabilidad.....	178
5.5.1	Estados financieros.....	178
5.5.2	Flujo de caja descontado sin apalancamiento.....	179
5.5.3	Tasa interna de retorno.....	181
5.5.4	Tiempo de retorno de capital.....	182
5.5.5	Valor actual neto.....	183
5.6	Punto de equilibrio.....	184
5.7	Tasa interna de retorno.....	186
5.8	Valor neto actual.....	186
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
6.1	CONCLUSIONES.....	188
6.2	RECOMENDACIONES.....	192
BIBLIOGRAFÍA.....		191
ANEXOS.....		192

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II

CUADRO 2.1 Contenido Porcentual en ácidos grasos y colesterol (Mg/100g) de diferentes Grasas y Aceites.....	16
CUADRO 2.2 Contenido en ácidos grasos de los frutos secos y otras semillas.....	17
CUADRO 2.3 Características físicas de diferentes aceites vegetales comparados con diésel.....	19
CUADRO 2.4 Principales tipos de combustibles obtenidos de la biomasa.....	25
CUADRO 2.5 Proceso de obtención de biocombustibles.....	29
CUADRO 2.6 Procesos, productos derivados y sus aplicaciones.....	30
CUADRO 2.7 Fabricación del biodiésel.....	33
CUADRO 2.8 Ventajas y limitaciones del uso del biodiésel en comparación con el diésel Nº2.....	40
CUADRO 2.9 Propiedades del biodiésel.....	44
CUADRO 2.10 Reacción de transesterificación.....	57
CUADRO 2.11 Reacciones implicadas en la transesterificación.....	58
CUADRO 2.12 Reacción de saponificación.....	59
CUADRO 2.13 Reacción de neutralización de ácidos grasos libres.....	60
CUADRO 2.14 Reacción de esterificación.....	61
CUADRO 2.15 Ventajas e inconvenientes de los catalizadores utilizados en la transesterificación.....	63
CUADRO 2.16 Proceso de transesterificación.....	70
CUADRO 2.17 Proceso de producción de biodiésel mediante reactores de flujo pistón.....	72
CUADRO 2.18 Proceso de esterificación.....	73

CUADRO 2.19	Proceso de producción de biodiésel mediante esterificación/transesterificación. proceso de catálisis ácida.....	74
CUADRO 2.20	Proceso de producción de biodiésel mediante proceso supercrítico.....	75
CUADRO 2.21	Análisis del ciclo vital para los balances de gases de efecto invernadero.....	86
CUADRO 2.22	Reducciones o incrementos de emisiones en vehículos que operan con biodiésel.....	88
CAPÍTULO III		
CUADRO 3.1	Operacionalización de las variables.....	94
CAPÍTULO IV		
CUADRO 4.1	Estrategia operacional de la investigación.....	100
CUADRO 4.2	Interés por temas referidos al cuidado del medio ambiente.....	104
CUADRO 4.3	Uso de aceites.....	105
CUADRO 4.4	Cantidad mensual de uso del aceite vegetal.....	106
CUADRO 4.5	Generación de residuos de aceite vegetal.....	108
CUADRO 4.6	Uso del aceite vegetal residual doméstico.....	109
CUADRO 4.7	Conocimiento de aceite residual como contaminante.....	111
CUADRO 4.8	Conocimiento de programas de gestión de residuos domésticos.....	110
CUADRO 4.9	Programas de gestión de residuos domésticos.....	111
CUADRO 4.10	Participación en programas de control de aceite residual doméstico.....	113
CUADRO 4.11	Disposición de residuos de aceite vegetal doméstico.....	114
CUADRO 4.12	Diagrama de bloques de la producción de biodiésel.....	132

CUADRO 4.13 Diagrama de relación de actividades.....159

CAPÍTULO V

CUADRO 5.1 Flujo de caja descontado para 5 años del proyecto en dólares.....180

CUADRO 5.2 Flujo de caja descontado con apalancamiento en dólares.....185

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO II

IMAGEN 2.1 Variación del porcentaje de ésteres en función del tiempo para transesterificación de aceite usado de cocina A 70°C, 1.1%.....	76
IMAGEN 2.2 Contenido de ésteres, bajo diferentes concentraciones de catalizadores para la transesterificación de aceite usado de cocina.....	79
IMAGEN 2.3 Efecto de la relación molar metanol aceite en la transesterificación de aceite usado de cocina.....	82
IMAGEN 2.4 Efecto de la temperatura en la eficiencia de conversión de aceite usado de cocina con relación metanol aceite 6:1, 1 % hidróxido de sodio.....	84
IMAGEN 2.5 Reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero de determinados biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles.....	87

CAPÍTULO IV

IMAGEN 4.1 Ubicación de la planta piloto de biodiésel y zona de recolección de aceites domésticos.....	101
IMAGEN 4.2 Cuadrantes de la zona de acopio.....	112
IMAGEN 4.3 Modelo de carrito recolector de aceite.....	103
IMAGEN 4.4 Envase de 4 litros para la recolección de aceite.....	116
IMAGEN 4.5 Proforma de la máquina para producir biodiesel.....	122
IMAGEN 4.6 Proforma de la máquina biodiésel efueis 125L.....	123
IMAGEN 4.7 Aceite doméstico recolectado.....	134
IMAGEN 4.8 Filtración del aceite.....	135
IMAGEN 4.9 Metóxido de sodio preparado.....	136
IMAGEN 4.10 Temperatura del aceite.....	137

IMAGEN 4.11 Mezcla con el metóxido.....	138
IMAGEN 4.12 Extracción.....	138
IMAGEN 4.13 Etapa de reposo y decantación.....	139
IMAGEN 4.14 Segunda transesterificación.....	139
IMAGEN 4.15 Muestra decantada en la pera de decantación.....	140
IMAGEN 4.16 Muestra en filtración.....	141
IMAGEN 4.17 Muestra filtrada.....	141
IMAGEN 4.18 Diésel comercial.....	143
IMAGEN 4.19 Biodiésel producido.....	144
IMAGEN 4.20 Densidad del diésel comercial.....	144
IMAGEN 4.21 Densidad del biodiésel producido.....	145
IMAGEN 4.22 Ensayo del viscosímetro oswalt.....	141
IMAGEN 4.23 Diseño del tanque de fondo cónico.....	151
IMAGEN 4.24 Diseño del tanque.....	152

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO IV

TABLA 4.1. Número de casas por manzana.....	115
TABLA 4.2. Equipamiento para la planta de biodiésel.....	118
TABLA 4.3. Equipamiento auxiliar para la planta de biodiésel.....	119
TABLA 4.4. Costo de fabricación de la planta de biodiésel.....	124
TABLA 4.5. Comparación de costos.....	125
TABLA 4.6. Comparaciones para la elección de la ubicación más apropiada, mediante el método de factores de balanceo.....	127
TABLA 4.7. Porcentaje según ley de biodiésel y diésel.....	143
TABLA 4. 8. Comparaciones según la experiencia de biodiésel y diésel.....	145
TABLA 4.9. Comparaciones según experiencia de biodiésel y diésel.....	146
TABLA 4.10. Cálculo de los elementos estáticos.....	155
TABLA 4.11. Cálculo de los elementos móviles.....	156
TABLA 4.12. Cálculo del área total.....	156
TABLA 4.13. Área aproximada de cada una de las áreas descritas anteriormente.....	158
TABLA 4.14. Clasificación de cercanía entre áreas.....	158
TABLA 4.15. Indicadores y sitios de muestreo propuestos por el estudio de impacto ambiental del proyecto.....	163

CAPÍTULO V

TABLA 5.1 Costo de los equipos.....	165
TABLA 5.2 Estimación de los costos directos en función del costo de equipo.....	166

TABLA 5.3 Estimación de los costos indirectos en función del costo de equipo.....	167
TABLA 5.4 Estimación de la inversión de capital total (kit) en función del costo de equipo.....	167
TABLA 5.5 Amortización de préstamo.....	169
TABLA 5.6 Costos de materia prima directa para el proceso de producción del biodiésel.....	175
TABLA 5.7 Costo de mano de obra directa.....	175
TABLA 5.8 Costos directos totales.....	176
TABLA 5.9 Materiales y suministros indirectos.....	176
TABLA 5.10 Mantenimiento.....	177
TABLA 5.11 Total de costos indirectos.....	177
TABLA 5.12 Total presupuesto egresos.....	178
TABLA 5.13 Gastos financieros.....	179

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO IV

GRÁFICO 4.1 Interés por temas referidos al cuidado del medio ambiente.....	104
GRÁFICO 4.2 Uso del aceite vegetal.....	105
GRÁFICO 4.3 Cantidad mensual de uso del aceite vegetal.....	107
GRÁFICO 4.4 Generación de residuos de aceite vegetal.....	108
GRÁFICO 4.5 Uso del aceite vegetal residual doméstico.....	109
GRÁFICO 4.6 Conocimiento de aceite residual como contaminante.....	110
GRÁFICO 4.7 Conocimiento de programas de gestión de residuos.....	111
GRÁFICO 4.8 Programas de gestión de residuos domésticos.....	112
GRÁFICO 4.9 Participación en programas de control de aceite residual doméstico.....	113
GRÁFICO 4.10 Disposición de residuos de aceite vegetal doméstico.....	114

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema de investigación

La concientización ambiental y la falta de normatividad en las actividades diarias se hacen cada vez más evidentes, muestra de ello son las actividades de preparación de alimentos que implican la generación de aceites vegetales residuales, los cuales, son dispuestos de manera directa a las líneas de drenaje municipales o al sistema de recolección de basuras, ocasionando serios problemas de contaminación.

Los principales generadores de estos residuos son las industrias de frituras y establecimientos de preparación de comidas rápidas, sin embargo, aunque en menor escala, también es considerado como generador los residuos de aceites vegetales, los vertidos por uso doméstico

El aceite vegetal se considera la principal causa de contaminación de las aguas urbanas, por el vertido al desagüe. Así como lo certifica la *Organización Mundial de la Salud un litro de residuo de aceite usado de cocina contamina el consumo de agua en un total de 1000 litros de agua de una persona durante 18 meses* siendo su tratamiento más complicado y, por supuesto, mucho más costoso.

Imaginemos por un momento el efecto de todas esas descargas que terminan en ríos y mares. No se compara con un derrame de petróleo, pero si no hacemos algo para evitarlo, **el daño podría ser irreversible**— en especial para especies como el delfín de río, cuyo hábitat natural se ha vuelto el botadero líquido.

La ciudad de Arequipa es susceptible a esta realidad problemática, y prueba de ello son las noticias, de contaminación ambiental producto de la emisión de desechos de aceite vegetal en los drenajes, emitidas por los medios de comunicación, así como las siguientes: *En julio del 2015, el diario Correo (2015)*, publicó la noticia en la que la jefa del departamento de Control de Calidad y Efluentes de Sedapar Arequipa, *Rosa María Jiménez*, informó que el Ministerio de Vivienda, a través del *Decreto 001-2015*, les dio la facultad para fiscalizar y sancionar a 3 mil 500 usuarios comerciales e industriales que viertan agua residual a la red principal del desagüe sin previo tratamiento. De igual manera, *en octubre de 2014, el diario El Comercio (2014)*, informó que en *DIGESA* confirma que el agua consumida en Arequipa está contaminada por diferentes factores de contaminación, entre ellos, por las grasas quemadas de uso domésticos que son echados al desagüe por las amas de casa de la ciudad.

Existen varias excusas para botar el aceite a la basura o, simplemente, no separarlo: supuesta *ausencia de un sistema de reciclado*, incomodidad de almacenamiento, la poca cantidad de aceite que se usa en el hogar. Por último, este aceite quemado de cocina es **muy valioso para**

generar biocombustible, y más aún existe la posibilidad de implementar una pequeña planta casera generadora de biocombustibles como el *biodiésel*, convirtiéndose esta en alternativa de solución de problemas caseros o generadora de ingresos propios.

1.2 Enunciado del problema

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL A BASE DE ACEITES DOMÉSTICOS.

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Social

La emisión de aceites vegetales residuales como factor contaminante del agua es un tema de interés común para toda la sociedad arequipeña, ya que es muestra de la falta de información y conciencia ambiental en la que se encuentra en peligro nuestra salud.

1.3.2 Espacial

La presente investigación se circunscribirá al estudio espacial en la ciudad de Arequipa.

1.3.3 Temporal

La presente corresponde al año 2015.

1.4 Formulación del problema de investigación

1.4.1 Problema general

¿Cómo diseñar una planta para la producción de biodiésel a base de aceites domésticos en la ciudad de Arequipa?

1.4.2 Problemas específicos

a. *¿Existe disponibilidad de los aceites vegetales residuales para su reciclaje?*

- b. ¿Cómo se desarrollaría la ingeniería para la producción de biocombustibles?*
- c. ¿Cuán óptimo es diseñar una planta piloto para la producción de biodiésel?*
- d. ¿A cuánto ascendería el monto de inversión para la instalación de una Planta productora de biodiésel?*
- e. ¿Cuál es el impacto ambiental generado por la emisión de aceites vegetales residuales?*

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar una planta para la producción de biodiésel a base de aceites domésticos.

1.5.2 Objetivos específicos

- A. Determinar la disponibilidad de los aceites vegetales residuales para su reciclaje.
- B. Precisar el desarrollo de la ingeniería para la producción de biocombustibles.
- C. Identificar la factibilidad de diseñar una planta piloto para la producción de biodiésel.
- D. Determinar el monto de inversión para la instalación de una Planta productora de biodiésel.
- E. Determinar el impacto ambiental generado por la emisión de aceites vegetales residuales.

1.6 Justificación de la investigación

En la actualidad, la disposición final de los aceites vegetales caseros no es adecuada, dado que los ciudadanos arequipeños, en su mayoría, desechan sus residuos por la alcantarilla o lo vierten en los basureros sin tomar las precauciones del caso. Estos aceites usados constituyen un serio problema de impacto ambiental y un potente recurso que se deja de aprovechar. La recolección de estos residuos y su adecuado tratamiento son competencia de las autoridades municipales locales. El tipo y la cantidad de aceites vegetales usados que se puedan generar

dependerán de las buenas prácticas en la cocina de la población y del tipo de alimentos que se preparen en los diferentes establecimientos.

En nuestros días el manejo de los aceites vegetales usados viene sufriendo algunos cambios positivos que beneficiarían directamente a la sociedad causante de este problema. La implantación de un sistema de gestión de aceites vegetales usados permitiría reducir el impacto ambiental. El uso de biodiésel producido a partir de estos residuos, en reemplazo del diésel de petróleo, reduciría gastos para el transporte de los ciudadanos. Además, se lograría asegurar un reaprovechamiento óptimo de los aceites vegetales usados.

En el aspecto económico, se puede afirmar que la investigación considera un estudio económico y financiero proyectado, el cual garantiza la implementación de una planta piloto generadora de biodiésel donde se genere la producción del biodiésel, garantizando el incremento del empleo en el ámbito geográfico donde se localizará la planta.

El aspecto social se justifica por la introducción en el mercado de un producto de calidad que contribuya con el mejoramiento de la calidad de vida de todos los ciudadanos a través del reciclaje de desechos caseros como el aceite vegetal residual.

El aspecto tecnológico está sustentado por la implementación de una planta con tecnología moderna que cumpla con los estándares de calidad requeridos.

1.7 Importancia de la investigación

La importancia de la investigación radica en el impulso de la concientización ambiental del desecho inadecuado de restos de aceites vegetales, mediante el procedimiento de la obtención de biodiésel y que además contribuye a la conservación de la calidad de vida de la población de esta ciudad. Otro aporte resaltante de la investigación es el análisis de las características del entorno

que se han tomado en cuenta para el diseño de una planta piloto sostenible que se mantenga vigente y que se adecue a los cambios de su entorno.

1.8 Limitación de la investigación

La principal limitación para esta investigación es la información requerida para la instalación de plantas biodiésel en Arequipa y para cumplir con las normas que exige la ley Peruana como los estándares de calidad al cual se deberá llegar para ofrecer el producto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Antecedentes históricos

Desde hace algún tiempo la gestión de los residuos, en general, está tomando vital importancia a nivel mundial. Para **Pasquale, G. y Ruiz, D. (2010)**, las acciones tomadas aún no son suficientes para poder establecer un equilibrio medioambiental. Existen sistemas de gestión de aceites vegetales usados en muchos países, sobre todo en los desarrollados, tales como España, Francia, Bélgica, Alemania, Costa Rica, México, Argentina, Brasil, entre otros. Estos países han establecido leyes y normas que facilitan la buena gestión de los residuos. A continuación, se mencionan algunas características básicas en sus sistemas establecidos:

- Instalación de puntos limpios en diferentes puntos de la ciudad.
- Tercerización del tratamiento de los residuos, asignándolo a entidades privadas.

- Realización de potentes campañas de sensibilización y concientización de la población.

De igual forma **Pasquale, G. y Ruiz, D. (2010)** indican que la diferencia que existe entre los distintos sistemas implantados en estos países, depende de:

- Las condiciones geográficas
- El nivel cultural de la zona
- El entorno social.

En Perú, existen algunas plantas instaladas para producción de biodiésel, entre ellas:

- ***Heaven Petroleum Operators***, empresa perteneciente **al Grupo Herco** de capitales peruanos, inauguró la primera planta procesadora y distribuidora de Biodiésel a nivel industrial en el Perú, ubicada en el kilómetro 33.5 de la carretera Panamericana Sur, en la localidad de Lurín, iniciando de esta manera la era de los combustibles limpios en el país.

- ***Pure Biofuels del Perú***, subsidiaria de ***Pure Biofuels Corporation***, empresa norteamericana dedicada a la producción de energía limpia, inauguró su moderna planta productora de biodiésel y terminal de almacenamiento de líquidos, ubicada en la provincia constitucional del Callao. Cabe mencionar dos plantas de tratamiento de aceites vegetales usados, que los reaprovechen en biodiésel, pero aplicado a un sector determinado, y no en la magnitud de esta propuesta.

- ***AMPCO PERÚ*** es una empresa perteneciente al ***GRUPO COPETROL*** que se dedica al manejo integral de residuos oleosos. Tiene por objeto la recolección, transporte, segregación, almacenamiento y comercialización de

residuos sólidos no peligrosos y peligrosos del ámbito municipal y no municipal que se generan en los sectores industrial, agropecuario, comercial, actividades de la construcción, establecimientos hospitalarios y de instalaciones de actividades especiales. La empresa también se dedica al tratamiento y reciclaje del aceite usado mineral, sintético y vegetal, grasas usadas mineral y vegetal así como de hidrocarburos contaminados, productos derivados de hidrocarburos contaminados y bases oleosas.

- **BIOCUSCO**, empresa peruana establecida, que produce biodiésel generado en un 100% a partir de aceites vegetales reciclados. Los reactores usados en este proceso fueron diseñados con tecnología propia asociada a sus sistemas informáticos de control de procesos. Esto le proporciona una alta probabilidad de obtener el mismo estándar de biodiésel.

De forma adicional, en nuestro país existen proyectos ya ejecutados y relacionados con el tema:

- **Proyecto: "Fomento de la Gestión Ambiental de Aceites Residuales en Grifos, Lubricentros, Pollerías y Restaurantes"**, desarrollado el año 2001 en el Distrito de Villa El Salvador, provincia de Lima, departamento de Lima. Participaron 35 pollerías y restaurantes (generadores de aceite vegetal usado). De otro lado participaron 25 grifos y lubricentros (generadores de aceite mineral usado), 22 empresas generadoras de aceite usado fuera de Villa El Salvador y 1 empresa recicladora de aceite usado. El proyecto fue ejecutado por la **ONG IPES** Promoción del Desarrollo Sostenible, teniendo como objetivo la sensibilización y

concientización de los establecimientos mencionados para fomentar la buena gestión de los aceites residuales. La meta era proporcionar una buena gestión de los aceites residuales, dándoles un adecuado tratamiento. El proyecto se ejecutó con éxito ante la respuesta favorable de los participantes y la colaboración de la Municipalidad, destinando los residuos de aceites lubricantes para su tratamiento y reutilización, así como los residuos de aceites vegetales para la elaboración de jabones (*SANET*).

- Entre mayo y junio del 2004, la *Universidad Agraria de la Molina*, apoyado por *Soluciones Prácticas-ITDG*, lanzó el primer bus ecológico alimentado con biodiésel en el Perú. El propósito fue perfeccionar la tecnología para la transformación de aceites vegetales usados en biodiésel, y probar la calidad y eficiencia del combustible obtenido. Este proyecto se llevó a cabo teniendo como beneficiarios a los estudiantes y docentes de la *Universidad Agraria La Molina (UNALM)*. Sirvió como punto de partida para el desarrollo de un tema de tesis. El proyecto aún sigue en ejecución manteniendo una mejora continua del proceso de transformación de aceites vegetales usados en biodiésel.

2.1.2 Antecedentes científicos

En América existen muchos casos de la realidad problemática del presente estudio, y hay innumerables autores que con sus estudios científicos nos instruyen sobre esta problemática.

En países como el nuestro este tema suscita gran polémica, asimismo, *Luis Miguel Márquez Farfán (2011)* en su trabajo de investigación: “*Diseño de un Sistema para la Gestión de Aceites Vegetales Usados en Cañete para Producir Biodiésel*” realiza un estudio referido a uno de los camales más grandes de la ciudad de *Abancay*, el que actualmente genera cerca 5 400 kg de

residuos al año, aproximadamente, los que son vertidos directamente al río Mariño, siendo así un factor de contaminación, *las grasas animales representan aproximadamente el 47% de estos residuos, por ello se escogió como materia prima a estas, para la producción de biodiésel como objetivo principal mediante el diseño y construcción de un birreactor para la obtención de este biocombustible*, con características adecuadas y así proponer una posible alternativa de solución a la inadecuada disposición final de dicho elemento(...).El diseño del reactor se realizó teniendo en cuenta el pH de la reacción (en medio básico) y la posterior construcción en el que se realizó el proceso de obtención del biodiésel de la forma requerida. El objetivo general de la presente investigación, es el de obtener biodiésel a partir de grasa animal, producto final que se pudo obtener, sin embargo no con las características deseadas, debido a las limitaciones en cuanto a la adquisición de los insumos necesarios. La obtención de la materia prima utilizada, es decir, la grasa animal fue conseguida acudiendo al camal municipal de Abancay, donde se nos facilitó 4.5kg de sebo de vaca (fase sólida), parte de la cual (2 kg) fue sometida a un proceso de fundición en estufa (fase líquida) para su posterior filtrado, evitando de esta manera la presencia de sólidos suspendidos.

Es bien sabido, que en la actualidad, los distintos países dependen del petróleo y sus productos, sin embargo, en los últimos años ha descendido la disponibilidad mundial de esta materia, y su costo relativo ha aumentado, lo que abarca la probabilidad de que a mediados del siglo XXI el petróleo ya no se use comercialmente de la forma habitual. Esto sostenido por estudios basados en el “*Análisis de la Producción y Reservas de Petróleo*” según “*Informe Estadístico de Energía Mundial*” hecho por *Beyond Petroleum (2007)*, el cual estimó que las reservas durarían unos 40 años si se mantiene el ritmo de extracción actual. Cabe mencionar que el uso de combustible fósiles fortalece el problema de efecto invernadero, el cual por un aumento en la

retención de la radiación solar está originando el calentamiento de la atmósfera y de la superficie terrestre (calentamiento global), y también el problema de las lluvias ácidas, que es un problema no solo ambiental sino también de salud pública. *Una solución alternativa es la creación de combustibles limpios como los biocombustibles, entre estos se encuentra el biodiésel, el cual tiene una interesante forma de obtención, ya que consiste en un combustible líquido derivado de aceites o grasas de origen vegetal o animal y que además puede usarse con seguridad en motores de ciclo diésel.* Este proyecto pretende estudiar y obtener biodiésel a partir de grasa bovina aprovechando un residuo que actualmente no genera un valor. Investigaciones experimentales muestra que el sebo bovino puede ser fácilmente esterificado, obteniendo una sustancia con propiedades similares a los ésteres de aceites vegetales. Experiencias muestran que la transesterificación alcalina de sebo bovino con metanol produce un biodiésel de alta calidad y también con una buena tasa de conversión.

De igual manera, existen una serie de investigaciones que resaltan la importancia de un procedimiento de reciclaje de los residuos de aceites vegetales, así como lo realiza *Morayma Uribe Gómez (2010: “Simulación de una Planta Piloto para la Producción de Biodiésel en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Esiqie”*, donde se muestra el desarrollo de la simulación de una planta piloto para la producción de biodiésel a partir de *aceite de soya*, este trabajo es parte de un programa para diseñar una planta piloto en la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) aprovechando que el Laboratorio de Operaciones Unitarias posee equipo que cubre con las características necesarias para producir biodiésel de alta calidad. Con este objetivo se estudiaron los componentes químicos, paquetes de propiedades, reacciones y equipos involucrados en el proceso de producción de biodiésel. Tanto el biodiésel como el aceite de soya se representaron por compuestos modelo, esto son oleato de metilo y

trioleína, respectivamente. *El procedimiento para producir biodiésel es la transesterificación del aceite de soya usando metanol e hidróxido de sodio como catalizador. La cinética de la reacción se obtuvo de los datos de literatura.* La simulación se llevó a cabo en el simulador comercial ASPEN PLUS. Las propiedades termodinámicas de los diferentes compuestos se determinaron con el método de contribución de grupos de UNIFAC y como método de referencia se usó el método NRTL. *El objetivo de la simulación fue determinar las condiciones óptimas de operación y especificaciones de los diferentes equipos que permitieran obtener un biodiésel que cumpliera las especificaciones de calidad establecidas actualmente en normas internacionales, principalmente la pureza dada por la concentración de esteres metílicos.* La simulación se realizó considerando que la reacción se lleva a cabo en dos reactores de mezcla completa y la separación de los productos se realiza en una serie de columnas de destilación (...). La simulación también fue útil para determinar la mínima cantidad de agua necesaria para lograr una buena separación de la fase rica en biodiésel y la fase rica en glicerol. *En las columnas de destilación se alcanzó una pureza de biodiésel del 99% y de glicerol del 98%. La capacidad de la planta fue de 40.76 l/hr. Los resultados de la simulación muestran que el equipo disponible en la ESIQIE es útil para producir biodiésel y glicerol de alta pureza que cumplen con los estándares ASTM D-975 y EN-14214.* Este trabajo es de alta relevancia para proyectar en el futuro la instalación de una planta piloto de producción continua de biodiésel en la ESIQIE, no necesariamente de aceite de soya, sino de cualquier otro aceite. *El biodiésel obtenido podría usarse como combustible en las unidades de transporte vehicular con las que cuenta el Instituto Politécnico Nacional, con lo cual la escuela contribuiría en la reducción de emisiones de bióxido de carbono a la atmósfera y principalmente a reducir los efectos en el cambio climático. Obtención de biodiésel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis.*

Por otro lado, *Ana Cristina Dinis Vicente Pardal (2013)* en su trabajo doctoral: *“El impacto ocasionado en el Medio Ambiente por el uso de Hidrocarburos y Combustibles fósiles ha motivado la necesidad de buscar otros tipos de Energías Sostenibles”*, resume que *el biodiésel representa una de las alternativas más interesantes, al reemplazar parcial o totalmente el diésel de origen mineral. Los aceites vegetales constituyen la materia prima principal en la producción de biodiésel mediante procesos de transesterificación.* En este proceso los triglicéridos reaccionan con un alcohol, en la presencia de un catalizador, originando ésteres alquílicos y glicerina. En el presente trabajo de investigación se ha estudiado la obtención de biodiésel mediante transesterificación de aceites vegetales, utilizando metanol como alcohol, en la presencia de diversos catalizadores y utilizando variadas condiciones experimentales.

Se ha llevado a cabo un estudio cinético de la transesterificación usando una sonda de ultrasonido, considerando el proceso global como una única reacción irreversible. Los resultados obtenidos no permiten la selección de la mejor expresión cinética. *A fin de determinar la posibilidad de utilizar el biodiésel como combustible en motores de combustión interna, el producto final, en los diferentes procesos, fue caracterizado de acuerdo con los criterios especificados por la Organización Europea de Normalización, en la norma EN 14214.* A lo largo de la memoria se exponen los resultados de la caracterización de los aceites, de la optimización de la reacción y de la determinación de las propiedades del biodiésel, para cada proceso estudiado. Se ha desarrollado un estudio económico sencillo, del proceso de producción de biodiésel en condiciones subcríticas. Se ha verificado que el mayor porcentaje, del costo total de producción de biodiésel, es referente a la materia prima. Se ha iniciado un estudio de la caracterización de las aguas residuales, producidas en la etapa de purificación del biodiésel, para posterior estudio del tratamiento de las mismas y posible reutilización en el proceso de síntesis del biodiésel.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 ACEITES Y GRASAS

A. *Generalidades*

Las grasas o lípidos son diferentes componentes químicos que se pueden extraer mediante solventes orgánicos de las plantas, los animales y distintos organismos microbianos. No existe una definición para el término lípido. Sin embargo, **D. Almeida Streitwieser (2008)** de forma más amplia las define como aquellos compuestos que son insolubles en agua pero solubles en solventes orgánicos como el éter, cloroformo, hexano, benceno o metanol. Tienen funciones metabólicas esenciales y son importantes como elementos estructurales. Las grasas constituyen el nutriente energético por excelencia. En los alimentos, los lípidos están constituidos principalmente por triésteres de ácidos grasos unidos a una molécula básica de glicerol (triacilgliceroles).

La importancia de las grasas en la alimentación viene dada por las siguientes características:

- Constituyen el combustible metabólico de mayor capacidad calórica: 1 g de grasa aporta 9 kcal, mientras que 1 g de hidratos de carbono (HCO) o proteínas aporta 4 kcal. El almacenamiento de la energía en forma de grasa es la manera más económica de mantener una reserva energética en el organismo.
- Suministran ácidos grasos esenciales, que no se pueden sintetizar en el organismo y que cumplen, además, funciones importantes en el desarrollo embrionario, el transporte, metabolismo y mantenimiento de la función e integridad de las membranas celulares.
- Son precursores de moléculas biológicas con importantes funciones metabólicas, como los eicosanoides y los docosanoides, y forman

parte de la estructura molecular de otros compuestos esenciales, como las hormonas esteroideas y los ácidos biliares.

- Son un vehículo para el transporte de vitaminas liposolubles (vitaminas A, D, E K).

La mayoría de ácidos grasos proceden de semillas (cereales, legumbres, frutos secos, cacao), aceites vegetales y grasas animales. Siguiendo a **F. Játiva Guzmán & B. Aguirre Ortega (2010)** sabemos que el predominio en estos alimentos de un tipo u otro de ácidos grasos, la presencia de colesterol (solo en productos animales) y la coexistencia de otros nutrientes tendrá efectos biológicos que pueden ser beneficiosos o nocivos y se tratarán más adelante.

CUADRO 2.1. Contenido porcentual en ácidos grasos y colesterol (Mg/100 g) de diferentes grasas y aceites

Grasa	AGS	AGM	AGP	Colesterol
<i>Vegetales</i>				
Aceite de girasol rico en oleico	6,2	75	14,3	0
Aceite de colza	6,6	57	32	0
Aceite de canola	7,1	59	30	0
Aceite de maíz	12,7	24	59	0
Aceite de girasol	13,1	32	50	0
Aceite de oliva	13,5	74	8,4	0
Aceite de soja	14,4	23	58	0
Aceite de cacahuete	16,9	46	32	0
Margarina (60% de grasa)	15,3	12,4	29,7	0
Aceite de palma ^a	49	37	9,3	0
Manteca de cacao	60	33	3,0	0
Aceite de palmiste ^a	82	11,4	1,6	0
Aceite de coco ^a	87	5,8	1,8	0

Fuente: Pasquela & Ruiz, 2010

“Los aceites de coco, palma y palmiste se les denomina usualmente como grasa de coco, palma y palmiste, porque habitualmente (dependiendo de las variedades botánicas de las que se obtienen) son sólidos a temperatura ambiente debido a su contenido relativamente elevados de

AGS. En el proceso de refinado se pueden eliminar AGS por “winterización”, un proceso de enfriamiento lento, y se convierten en aceites”

CUADRO 2.2. Contenido en ácidos grasos de los frutos secos y otras semillas

Grasa	AGS	AGM	AGP	Colesterol
Almendras	4,24	36,66	10,03	0
Anacardos	7,54	26,44	3,76	0
Avellanas	3,9	42,2	5,66	0
Cacahuetes	9,22	23,4	14,0	0
Nueces	6,43	9,19	40,23	0
Nueces macadamia	11,2	60,8	1,6	0
Piñones	4,6	19,9	41,1	0
Pipas de girasol	5,63	13,7	21,5	0
Pistachos	6,8	31,4	6,1	0
Sésamo o ajonjolí	8,3	21,7	25,5	0

Fuente: Pasquela & Ruiz, 2010

B. Clasificación

Según **F. Játiva Guzmán & B. Aguirre Ortega (2010)**, las grasas y aceites se pueden clasificar según su procedencia en:

- Vegetales: De semillas (girasol, raps, pepa de uva, germen de maíz, lino, etc.) o de frutos (coco, palma, oliva, cacao, etc.)
- Animales: Depósitos de interiores de vacunos, cerdos, ovinos, etc. así como de leche de animales (mantequilla)
- Marinos: Aceite de pescado, ballena, etc.

C. Aceites vegetales

1. Generalidades

Los aceites vegetales son productos formados por triglicéridos, es decir, ésteres de ácidos grasos y glicerina con pequeñas cantidades de vitaminas, fosfátidos (lecitinas), esteroides, colorantes y agua principalmente. Para **Alison K. Varty y Shane C. Lishawa (2008)**, los ácidos grasos son sintetizados por plantas y animales y están constituidos por cadenas con un número de

carbonos normalmente entre 6 y 18, siendo el ácido oleico, esteárico, palmítico, linoleico, los más comunes.

Los triglicéridos, principal componente de los aceites biológicos, son convertidos en ésteres alquílicos por reacciones químicas, a fin de mejorar sus propiedades de flujo como combustible, en tanto se le retira la glicerina al aceite, factor de aumento de densidad y viscosidad.

La producción de biodiésel a partir de aceite virgen de palma, es una actividad económica relativamente bien desarrollada en Colombia, hasta el punto que por su experiencia se han instalado varias plantas de producción en el extranjero. Según los estudios realizados por **Alison K. Varty (2008)**, muestran que en Colombia una buena parte de los aceites vegetales de cocina, son mezclas de ácidos grasos de diversas fuentes y con diferentes puntos de fusión, según el área geográfica en donde se consume el aceite preparado, siendo el aceite de palma por su precio, uno de los principales aceites de cocina comercializados. Por esta razón, parte de la interpretación de los resultados será referida, a ésteres alquílicos de ácido palmítico.

2. Características

La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95% de triglicéridos y 5% de ácidos grasos libres, de esteroides, ceras y otros componentes minoritarios. Los triglicéridos son triésteres formados por la reacción de ácidos grasos sobre las tres funciones como alcohol del glicerol.

El siguiente cuadro nos muestra las características de 8 aceites vegetales.

CUADRO 2.3. Características físicas de diferentes aceites vegetales comparados con diésel

	Densidad a 20°C	Viscosidad a 20°C	"Pour point" (°C)	"Cloud point" (°C)	"Flash point" (°C)	Poder calorífico (MJ/kg)
Combustible Diesel	0.836	6	-18	-9	93	43.8
Copra	0.915	30	23/26	28	230	37.1
Palma	0.945	60	23/40	31	280	36.9
Algodón	0.921	73	-2	-1	243	36.8
Tempate	0.920	77	-3	2	236	38.8
Cacahuete	0.914	85	-1	9	258	39.3
Colza	0.920	78	-2	-11	285	37.4
Soja	0.920	61	-4	-4	330	37.3
Girasol	0.925	58	-6	-5	316	37.8

Fuente: CEDESU (*Centro de Estudios sobre el Desarrollo Sustentable*)

3. Ventajas e inconvenientes del aceite vegetal natural

a. Ventajas

- Gran valor calorífico, es decir, gran densidad energética.
- Forma líquida y, por ello, fácil de usar.
- Cuando se quema emite menos hollín.
- Cuando se quema tiene una eficiencia energética más grande.
- No es tóxico ni dañino para humanos, animales, suelos o agua.
- No es inflamable ni explosivo y no emite gases tóxicos.
- Es fácil de almacenar, transportar y utilizar.
- No causa daños si accidentalmente se vierte.
- En su manejo no se requiere tomar precauciones especiales.

- Es producido de forma directa por la naturaleza, no ha de ser transformado.
- Es una forma reciclable de energía.
- No tiene efectos ecológicos adversos cuando es utilizado.
- No contiene sulfuro, por lo que no genera lluvia ácida cuando es usado.
- Cuando se quema es neutral en CO₂, por lo que no contribuye al efecto invernadero.

b. Inconvenientes

- Tiene un mayor coste de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
- Producción estacional.
- La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y, por lo tanto puede generar problemas de transporte y almacenamiento.

4. Cambios físicos y químicos del aceite durante el freído

Durante el freído, el aceite normalmente es sometido a temperaturas entre 160°C y 190°C, en ocasiones, innecesariamente llegando por encima del punto de humo, en presencia de aire y luz por tiempos relativamente largos con varias reutilizaciones. Estas condiciones causan cambios químicos, que dependen principalmente de la composición del aceite.

Las investigaciones realizadas por **S. Paul et al (2007)** permiten establecer que durante la utilización de los aceites comestibles se presentan tres tipos de alteraciones químicas:

- *Alteraciones termolíticas*
- *Alteraciones oxidativas*
- *Alteraciones hidrolíticas*

Estas alteraciones son causadas por diversos agentes tales como la humedad del equipo de cocción y/o del material cocinado, el oxígeno del aire y el calor. Los componentes resultantes de estas alteraciones son ácidos grasos libres, glicerol, monómeros, dímeros y polímeros oxidados, dímeros no polares, trímeros, epóxidos, componentes volátiles, dímeros y polímeros no oxidados.

a. Alteraciones termolíticas

Para **García Camús, J. (2010)**, estas reacciones ocurren en ausencia de oxígeno y a muy altas temperaturas. Si los triglicéridos contienen ácidos grasos saturados, estos en ausencia de oxígeno se convierten en alcanos, alquenos y ácidos de cadena corta. Ácidos grasos insaturados producen bajo estas condiciones dímeros y componentes policíclicos. Los ácidos grasos insaturados, también reaccionan con otros ácidos grasos insaturados vía reacciones Diels-Alder, formando dímeros y trímeros.

b. Alteraciones oxidativas

Los ácidos grasos insaturados pueden reaccionar con oxígeno molecular, vía mecanismo de radicales libres. Del mismo modo **García Camús, J. (2010)**, nos indica que los hidroperóxidos formados como productos primarios durante la reacción, pueden formar numerosos compuestos tales como hidroperóxidos isómeros que contienen grupos dienos conjugados.

Los hidroperóxidos también producen muchas sustancias con distintos pesos moleculares de importancia biológica. Los radicales alcoxi, están formados vía ruptura

del enlace O-O de hidroperóxidos. Estos radicales alcoxi pueden ganar o perder átomos de H para formar hidróxidos o ceto derivados respectivamente.

Varias sustancias químicas como aldehídos, hidrocarburos, (semi aldehídos) y ácidos, se forman por la descomposición de los radicales alcoxi. ***En la presencia de oxígeno del aire en exceso, los radicales alcoxi y peróxidos pueden ser transformados en compuestos dímeros y oligómeros.***

c. Alteraciones hidrolíticas

El vapor producido durante la preparación de alimentos causa la hidrólisis de los triglicéridos, resultando en la formación de ácidos grasos libres, glicerol, monoglicéridos y diglicéridos. Según **García Camús, J. (2010)**, indica que estos compuestos se forman dependiendo de muchas variables entre las cuales están la temperatura a la que se eleva el aceite durante el freído, el tiempo, el número de re-usos de aceite, la composición inicial de los lípidos del aceite, la composición de los alimentos sometidos a fritura, el grado de insaturación del aceite y los aditivos entre otros.

La combinación de los productos de todas esas reacciones químicas puede generar compuestos indeseables formados durante el freído, los cuales tienen efectos toxicológicos desconocidos al ser consumidos. ***Todas las sustancias formadas durante el freído poseen mayor polaridad que la inicial en el triglicérido, y esta polaridad es fácilmente cuantificable por cromatografía.***

El contenido de estas sustancias polares en los aceites, se incrementa al recalentarse el aceite. La calidad del aceite comestible después de varios freídos,

generalmente se basa en el contenido de estas sustancias. La concentración de sustancias polares en el aceite fresco está usualmente entre 0.4 y 6.4 mg/100 gr. Muchos países europeos tienen establecido el máximo contenido de polares en un nivel del 25% del aceite comestible usado, pudiendo ser descartadas los aceites y las grasas cuando la fracción polar es superior a este valor.

En algunos estudios realizados en aceite de girasol y oliva, de **José Ángel García Laborda (2011)**, se reporta que después de 20 freídas, el contenido de sustancias polares en el aceite de girasol se incrementó en 640% y que en el aceite de oliva se incrementó en 480 %. Después de 40 freídas, el contenido de polares fue mayor al 25%.

La cantidad y el tipo de productos indeseables formados durante el freído, afecta el desarrollo de las reacciones de transesterificación e igualmente cualquiera de las propiedades del biodiésel, por lo tanto, es importante conocer la cantidad de estos productos, especialmente, el tipo de componentes polares que se forman durante el freído.

Dado que estos componentes pueden afectar el rendimiento en la formación de alquilésteres, algunos autores como Demirbas, Supple et al, y Wang et al, recomiendan realizar un tratamiento previo al aceite usado de cocina, con el fin de eliminarlos y luego proceder a la etapa de transesterificación. Además de las alteraciones químicas de los aceites, se han observado cambios en el color, incremento en la viscosidad, en el calor específico, en la tensión superficial y en la tendencia del aceite a formar espuma.

2.2.2 BIOCOMBUSTIBLES

Actualmente, los combustibles fósiles y la energía nuclear proporcionan cada año alrededor del 90% de la energía que se utiliza en el mundo. Pero las reservas de combustibles fósiles son limitadas y, en mayor o menor grado, contaminantes.

Desde mediados del siglo XX, con el crecimiento de la población, la extensión de la producción industrial, y el uso masivo de tecnologías, comenzó a crecer la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo y el deterioro ambiental. Desde entonces, se impulsó el desarrollo de energías alternativas basadas en recursos naturales renovables y menos contaminantes, como la luz solar, las mareas, el agua, y la biomasa.

A. Definición

Los biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas recientemente por seres vivos, a las cuales se les denomina “biomasa”. Sin embargo, según **José Ángel García Laborda (2011)** pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión. Existen varios tipos de biocombustibles, a los cuales se les clasifica de acuerdo al insumo o materia prima y a la tecnología empleada para producirlos.

A diferencia de los combustibles fósiles, que provienen de la materia orgánica acumulada durante enormes períodos de tiempo, los biocombustibles provienen de una fuente renovable, la biomasa. La biomasa es la materia orgánica que constituye todos los seres vivos, sus productos y desechos. Se dice que es una fuente de energía renovable porque su formación no lleva miles de años, por lo tanto, la tasa de utilización no es mucho mayor a la de su formación.

CUADRO 2.4. Principales tipos de combustibles obtenidos de la biomasa

Sólidos	Líquidos	Gaseosos
Paja Leña Astillas Briquetas Carbón vegetal	Alcoholes Biohidrocarburos Aceites vegetales y ésteres derivados Aceites de pirólisis	Gas de gasógeno Biogás Hidrógeno

Fuente: *ArgenBio*

En gran parte del mundo, la leña (o carbón vegetal) que se obtiene a partir de la madera sigue siendo el principal biocombustible empleado para la cocina, la calefacción y la luz. Esta fuente de energía es un recurso renovable si se obtiene a partir de bosques convenientemente reforestados. Asimismo, muchos vehículos utilizan biocombustibles a base de metanol y etanol mezclado con gasolina. Se puede obtener etanol a partir de la caña de azúcar, remolacha o maíz.

En algunos países, como India y China, se produce biogás a partir de la fermentación natural de desechos orgánicos (excrementos de animales y residuos vegetales). Otra fuente importante de biocombustibles son los aceites de los cultivos oleaginosos, como la soja, girasol y colza, que pueden convertirse en biodiésel.

B. Generaciones

Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones:

1. Primera generación

Algunos de los insumos son de procedencia agrícola y están conformados por las partes alimenticias de las plantas, las cuales tienen un alto contenido de almidón, azúcares y aceites. Ejemplos de estas materias son el jugo de la caña de azúcar, granos de maíz, jugo de la remolacha o betabel, aceite de semilla de

girasol, aceite de soya, aceite de palma, aceite de ricino, aceite de semilla de algodón, aceite de coco, aceite de maní o cacahuete, entre otros. Para **José Stratta (2010)**, también se emplean como insumos a las grasas animales, grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos, y desperdicios sólidos orgánicos.

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación (para los aceites y grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene etanol, metanol y n-butanol (a partir de azúcares), biodiésel (a partir de los aceites), y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos).

Las ventajas de estos biocombustibles son su facilidad de procesamiento, sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero (excepto en el caso del maíz, donde el balance de estas emisiones es casi nulo) y un balance positivo en dichas emisiones, pero tiene como desventaja el desvío de recursos alimenticios hacia la producción de energéticos.

2. Segunda generación

Los insumos son residuos agrícolas y forestales compuestos principalmente por celulosa. Ejemplos de ellos son el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz (tallo, hojas y olote), paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles, etcétera.

Por otro lado, para **José Stratta (2010)**, los procesos de producción tienen un nivel de complejidad más alto que los de primera generación, y como ejemplos destacan la sacarificación fermentación y el proceso Fischer-Tropsch. Este último proceso también recibe los nombres de proceso GTL y proceso BTL, cuyas siglas en inglés provienen de “Gas-To-Liquids” y “Biomass-To-Liquids” respectivamente, los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol.

Mediante los procesos de segunda generación se fabrica etanol, metanol, gas de síntesis (mezcla de anhídrido carbonoso, mejor conocido como monóxido de carbono, e hidrógeno), biodiésel, 2.5-dimetilfurano (*DMF*), entre otros.

La ventaja principal en la producción de estos biocombustibles según **José Stratta (2010)**, es la inexistencia de desviaciones de alimentos provenientes de la agricultura hacia el sector energético, pero su desventaja es la poca ganancia en disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el procesamiento de los insumos, respecto a los biocombustibles de primera generación.

3. Tercera generación

Los insumos son vegetales no alimenticios de crecimiento rápido y con una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo que se les denomina “cultivos energéticos”. Entre estos vegetales están los pastos

perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes y verde azules.

Los procesos de obtención de biocombustibles se encuentran en fase de desarrollo, sin embargo, se ha logrado producir biodiésel y etanol a nivel planta piloto.

Las ventajas de estos biocombustibles, según **José Stratta (2010)**, son el secuestro de anhídrido carbónico (CO₂) para la producción de los insumos y un balance positivo en la emisión de gases de efecto invernadero, pero su desventaja es la utilización de tierras de cultivo de alimentos para sembrar los insumos, con excepción de las algas verdes.

4. Cuarta generación

Los biocombustibles son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles.

A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos.

A criterio de **José Stratta (2010)**, actualmente esta generación de biocombustibles se encuentra en fase teórica, sólo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir de anhídrido carbónico, sin embargo, depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes.

C. Obtención de los biocombustibles

Según la naturaleza de la biomasa, y el tipo de combustible deseado, se pueden utilizar diferentes métodos para obtener biocombustibles:

- **Mecánicos** (astillado, trituración, compactación), termoquímicos (combustión, pirolisis y gasificación).
- **Biotecnológicos** (fermentación y digestión microbiana anaeróbica).
- **Extractivos.**

CUADRO 2.5. Proceso de obtención de biocombustibles

Proceso de obtención de biocombustibles			
	Técnicas	Productos	Aplicaciones
Mecánicos	Astillado	Leñas	Calefacción
	Trituración	Astillas	Electricidad
	Compactación	Briquetas Aserrín	
Termoquímicos	Pirolisis	Carbón	Calefacción
	Gasificación	Aceites	Electricidad
		Gasógeno	Transporte Industria química
Biotecnológicos	Fermentación	Etanol	Transporte
	Digestión anaeróbica	Biogas	Industria química
Extractivos	Extracción físico-química	Aceites	Transporte
		Ésteres	Industria química
		Hidrocarburos	

Fuente: *Departamento de capacitación y desarrollo de mercado investigación y desarrollo*

Cada técnica depende del tipo de biomasa disponible. Si se trata de un material seco puede convertirse en calor directamente mediante combustión, que producirá vapor para generar energía

eléctrica. Si contiene agua, se puede realizar la digestión anaeróbica, que lo convertirá en metano y otros gases, o fermentar para producir alcohol, o convertir en hidrocarburo por reducción química. Si se aplican métodos termoquímicos es posible extraer metanol, aceites, gases, etc.

CUADRO 2.6. Procesos, productos derivados y sus aplicaciones

	Procesos de obtención de biocombustibles					
	Mecánicos	Termoquímicos		Biotecnológicos		Extractivos
Técnicas	Astillado Trituración Compactación	Pirolisis	Gasificación	Fermentación	Digestión anaerobia	Extracción físico-química
Productos	Leñas Astillas Briquetas Aserrín	Carbón Aceites	Gas de gasógeno	Etanol Varios	Biogás	Aceites Ésteres Hidrocarburos
Aplicaciones	Calefacción Electricidad	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Transporte Industria química	Calefacción Electricidad	Transporte Industria química

Fuente: *Usuarios lycos.*

D. Principales biocombustibles

1. Bioetanol

Ya en el año **1908 - Henry Ford**, cuando diseñó su primer automóvil, promovía el empleo de etanol como combustible, fabricado a partir de fuentes renovables. De hecho, en la década de **1920** se incorporó en Estados Unidos un 25% de etanol a la gasolina, pero los altos precios del maíz, combinados con dificultades en el almacenamiento y transporte, hicieron fracasar el proyecto. En la década de **1930 - Henry Ford** y varios expertos unieron fuerzas y construyeron una planta de fermentación para fabricar etanol a partir de maíz para combustible de motores, al que llamaron "gasohol". Pero en la década de 1940, los

bajos precios del petróleo llevaron al cierre de la planta, y el gasohol fue reemplazado por la gasolina otra vez.

En la actualidad, el reemplazo del petróleo por fuentes de energía renovables y más limpias vuelve a cobrar impulso, y el bioetanol se presenta como una alternativa atractiva.

El bioetanol es un alcohol, y se obtiene como la cerveza y otras bebidas alcohólicas. Los carbohidratos son transformados en azúcares simples, los que se convierten por fermentación en etanol, que luego es destilado en su forma final. Se produce principalmente a partir de la caña de azúcar o maíz (en algunos casos mezclado con otros cereales), cuyos hidratos de carbono son fermentados a etanol por las levaduras del género *Saccharomyces*.

La caña de azúcar según **Javier Bonilla Herrera (2011)** 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 es que resulta cara como materia prima. Los cultivos como el maíz son ricos en almidón, un hidrato de carbono complejo necesita ser primero transformado en azúcares simples. Este proceso se denomina sacarificación, e introduce un paso más en la producción, con el consecuente aumento en los costos.

La producción podría 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 del etanol a partir de desechos no sea rentable, al menos por ahora.

Los principales productores de alcohol como combustible según los estudios realizados por **Javier Bonilla Herrera (2011)** son Brasil, Estados Unidos y Canadá. Brasil

lo produce a partir de la caña de azúcar y lo emplea como “hidroalcohol” (95% etanol) o como aditivo de la gasolina (24% de etanol). Estados Unidos y Canadá lo producen 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. Más de 1.500 millones de galones (5.670 millones de litros aprox.) se agregan anualmente a la gasolina para mejorar el rendimiento de los vehículos y reducir la contaminación atmosférica.

2. Biodiésel

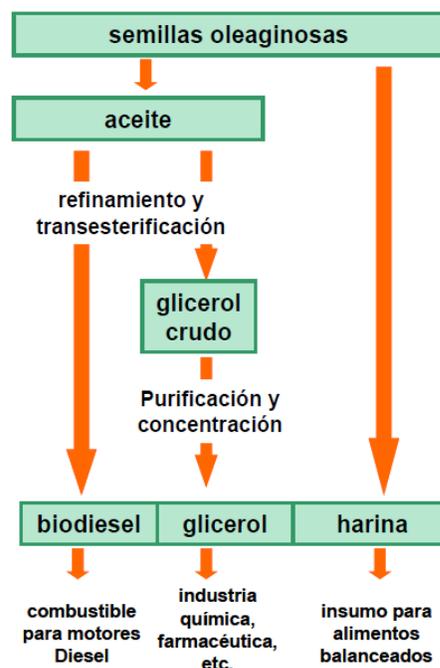
Rudolf Diésel hizo funcionar su primer prototipo de motor diésel, cien años atrás, con aceite de maní. Diésel vislumbraba que los motores diésel operarían a base de una variedad de aceites vegetales. Pero cuando el combustible diésel proveniente del petróleo irrumpió en el mercado, se convirtió en el combustible elegido, ya que era barato, razonablemente eficiente y fácilmente disponible. 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 biodiésel como una alternativa al obtenido a partir de petróleo.

El biodiésel es un éster que puede producirse a partir de aceites vegetales, como el de soja, colza, girasol, y otros, y también a partir de grasas animales. Su elaboración se basa en la reacción de transesterificación de los glicéridos, utilizando catalizadores. Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir, tienen tres cadenas de ácidos grasos unidas a un alcohol, el glicerol. 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. Estos ésteres metílicos o etílicos (biodiésel) se mezclan con el diésel convencional (o gasoil) o se utilizan como

combustible puro en cualquier motor diésel. El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción. El biodiésel tiene una cantidad de energía similar al diésel de petróleo pero es un combustible más limpio, y puede ser utilizado por cualquier tipo de motor diésel (en vehículos de transporte, embarcaciones, naves turísticas y lanchas) solo o como aditivos para mejorar la lubricidad del motor.

Actualmente, el biodiésel se usa en varios países en mezclas con porcentajes diversos. Existe interés en utilizar biodiésel donde los trabajadores son expuestos a gases de escape de diésel, en aeronaves, para controlar la polución en el área de los aeropuertos, y en locomotoras que enfrentan restricciones en su uso debido a sus emisiones.

CUADRO 2.7. Fabricación del biodiésel



Fuente: Instituto nacional de aprendizaje núcleo mecánica de vehículos

3. Biogás

Para **Manuel Francisco Cifuentes Guerrero (2010)**, la obtención del biogás se puede utilizar como materia prima los excrementos animales, 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. Esta técnica permite resolver parcialmente la demanda de energía en zonas rurales, reduce la deforestación debida a la tala de árboles para leña, permite reciclar los desechos de la actividad agropecuaria y, es un recurso energético “limpio” y renovable.

El biogás que se desprende de los tanques o digestores es rico en metano que puede ser empleado para generar energía eléctrica o mecánica mediante su combustión, sea en plantas industriales o para uso doméstico.

La primera instalación doméstica para producir biogás se habría construido en la India alrededor del 1900. Actualmente funcionarían en ese país alrededor de 200 mil biodigestores, y en China alrededor de 6 millones. Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado. Debido al gran volumen de materia orgánica que necesitan para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseñan con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón.

El biogás se obtiene por descomposición de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y a través de la acción de cuatro tipos de bacterias:

- Las hidrolíticas, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos y otros compuestos policarbonados.
- Las acetogénicas, productoras de hidrógeno.
- Las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos carbonados en ácido acético.
- Las metanogénicas, productoras del gas metano, principal componente del biogás.

2.2.3 BIODIÉSEL

A. Definición

De igual forma, **Manuel Francisco Cifuentes Guerrero (2010)** concluye que el biodiésel es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo.

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

B. Obtención del biodiésel

El proceso de transesterificación consiste en combinar el aceite (normalmente aceite vegetal) con un alcohol ligero, normalmente metanol, y deja como residuo de valor añadido propanotriol (glicerina) que puede ser aprovechada por la industria cosmética, entre otras.

C. Ventajas e inconvenientes

1. Ventajas

Según el estudio de utilización de aceites para fritura de **Yagüe Aylón, A. (2003)**, el biodiésel es un carburante ecológico que posee grandes ventajas medioambientales:

a. Es un combustible que no daña el medioambiente

El Biodiésel (Ésteres metílicos de ácidos grasos) no daña el medio ambiente por ser un combustible de origen vegetal en su estado 100% puro. Su uso en el referido estado sería completamente inocuo con nuestro medio. Para poder usarse se debería efectuar unas pequeñas modificaciones técnicas en los motores diésel, como sería modificar el compuesto de la goma y/o cauchos de los manguitos y latiguillos del circuito del combustible. Ello es debido a que el biodiésel 100% tiene la particularidad de disolver la goma. Desde los años 90, casi todos los fabricantes de vehículos (principalmente marcas alemanas), ya han sustituido dichos conductos fabricados con materiales plásticos o derivados, que el Biodiésel 100% puro no los disuelve.

b. Se produce a partir de materias primas renovables

El Biodiésel se produce a partir de aceites vegetales, vírgenes y reciclados. El aceite vegetal virgen se extrae de la semilla cultivada dejando atrás la harina de semilla que puede usarse como forraje animal. El aceite es refinado antes de incorporarlo al proceso de producción del biodiésel. Aunque existen más de trescientos tipos de oleaginosas, las más comunes en la producción de biodiésel son la colza, la soja, el girasol y la palma. Los aceites reciclados proceden de la recogida de sectores como la hostelería, alimentarios, cocinas domésticas, etc.

Con el reciclaje de los aceites usados, **Eder Armando Caballero Moreno (2012)**, evitamos su vertido, salvaguardando la contaminación de las aguas subterráneas, fluviales y marinas, así como la vida que en ellas habita. Y evitamos su uso en la alimentación animal. Con los aceites vegetales, se contribuye de manera significativa al suministro energético sostenible, lo que permite reducir la dependencia del petróleo, incrementando la seguridad y diversidad en los suministros, así como el desarrollo socioeconómico del área rural (producción de oleaginosas con fines energéticos), y la conservación de nuestro medio ambiente.

c. No contiene prácticamente nada de azufre. Evita las emisiones de SOx (lluvia ácida o efecto invernadero)

El Biodiésel no contiene azufre, agente que se encuentra en el gasóleo por su poder de lubricación. En la actualidad los modernos gasóleos bajos en azufre, por su proceso de desulfuración pierden el poder de lubricación, incrementando el ruido y desgaste de los motores. Las compañías petroleras deben por este motivo aditivar el gasóleo con aditivos químicos y sintéticos para paliar esa anomalía. En Francia se aditiva todo el gasóleo que se comercializa en estaciones de servicio con Biodiésel al 2% como aditivo lubricador.

d. Mejora la combustión, reduciendo claramente emisiones de hollín (hasta casi un 55% desapareciendo el humo negro y olor desagradable)

Dado que la molécula de biodiésel aporta, por unidad de volumen, más átomos de oxígeno que lo que aporta el mismo volumen de gasóleo convencional, la presencia de inquemados es menor utilizando biodiésel dado que hay menos moléculas de carbono elemental (hollín) y menos de monóxido de carbono (CO).

e. Produce, durante su combustión menor cantidad de CO₂ que el que las plantas absorben para su crecimiento (ciclo cerrado de CO₂)

El dióxido de carbono CO₂ que emite a la atmósfera el Biodiésel durante la combustión es neutro, ya que es el mismo que captó la planta oleaginosa utilizada para extraer el aceite durante su etapa de crecimiento. Con lo cual, la combustión de Biodiésel no contribuye al efecto invernadero, es neutra y ayuda a cumplir el protocolo de Kyoto.

f. No contiene ni benceno, ni otras sustancias aromáticas cancerígenas (Hidrocarburos aromáticos policíclicos)

Para **Yagüe Aylón, A. (2003)** el Biodiésel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.

g. Es fácilmente biodegradable, y en caso de derrame y/o accidente, no pone en peligro ni el suelo ni las aguas subterráneas

El Biodiésel, es biodegradable (aprox. 21 días), su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con nuestro medio.

h. No es una mercancía peligrosa (el punto de inflamación se encuentra por encima de 110°

C)

El Biodiésel tiene su punto de inflamación por encima de 110° C, por eso no está clasificado como mercancía peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación segura.

i. Posee un alto poder lubricante y protege el motor reduciendo su desgaste así como sus gastos de mantenimiento

El Biodiésel por ser su origen los aceites vegetales, tiene un alto poder de lubricación, alargando la vida de los motores, reduciendo el ruido en los mismos, así como notablemente abaratando los costes de mantenimiento.

Así mismo, **Eder Armando Caballero Moreno (2012)** determina como característica del Biodiésel, cabe reseñar el *poder detergente*, que mantiene limpios los sistemas de conducción e inyección del circuito de combustible de los motores.

j. Es el único combustible no contaminante alternativo a los motores de gasóleo convencional

El Biodiésel, es el único combustible renovable alternativo en los motores diésel. Por su composición vegetal, es inocuo con el medio, es neutro con el efecto invernadero, y es totalmente compatible para ser usado en cualquier motor diésel, sea cual sea su antigüedad y estado. La mezcla que se comercializa, siguiendo la normativa recién aprobada en España, cumple con todas y cada una de las especificaciones de Gasóleo de Automoción (EN-590), mejorando los parámetros deficitarios de dicha norma.

2. Desventajas

- a. A bajas temperaturas puede empezar a solidificar y formar cristales, que pueden obstruir los conductos del combustible.
- b. Por sus propiedades solventes, puede ablandar y degradar ciertos materiales, tales como el caucho natural y la espuma de poliuretano. Es por esto que puede ser necesario cambiar algunas mangueras y retenes del motor antes de usar biodiésel en él, especialmente con vehículos antiguos.
- c. Sus costos aún pueden ser más elevados que los del diésel de petróleo. Esto depende básicamente de la fuente de aceite utilizado en su elaboración.
- d. Competencia con los alimentos.

CUADRO 2.8. Ventajas y limitaciones del uso del biodiésel en comparación con el diésel N° 2

USO DEL BIODIÉSEL EN COMPARACIÓN CON EL DIÉSEL N° 2	
VENTAJAS	LIMITACIONES
TÉCNICA	
Mínimas diferencias en potencia y consumo de los motores.	Problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C).
Mayor lubricidad (favorece el funcionamiento de los componentes del motor).	Incompatible con una serie de plásticos y derivados del caucho natural (eventual sustitución de

<p>El motor diésel no requiere ser modificado (sólo cambio de empaques y jebes).</p> <p>Su utilización sustitutiva no demanda modificaciones de la infraestructura de distribución y venta de combustibles líquidos ya instalada.</p>	<p>algunos componentes del motor: mangueras, juntas, sellos, diafragmas, partes de filtros y similares).</p>
---	--

SOCIOECONÓMICAS

<p>Viabiliza el autoabastecimiento de combustible al productor agropecuario (en términos de microeconomía).</p> <p>Reduce la dependencia de los países agroproductores, del abastecimiento de combustibles fósiles por parte de los países productores de petróleo.</p> <p>Fuente potencial de nuevos puestos de trabajo.</p>	<p>Alta dependencia del costo de las materias primas.</p> <p>Sus costos aún pueden ser más elevados que los del combustible diésel, de acuerdo con la fuente de aceite utilizado en su elaboración.</p> <p>Generación de un coproducto (glicerina) cuya purificación a grado técnico sólo es viable para grandes producciones.</p>
---	--

AMBIENTALES Y ECOLÓGICAS

Alta biodegradabilidad,
comparable a la de la dextrosa.

No contiene azufre.

No contribuye a aumentar las
emisiones de carbono al ambiente.

Energía de fuente renovable.

Los productores de materia
prima pueden recurrir a la
deforestación para obtener tierras
cultivables.

Grandes extensiones de
monocultivos de materia prima puede
afectar el equilibrio ecológico de la
zona seleccionada.

Emisiones de NO_x (óxidos de
nitrógeno).

SEGURIDAD, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Transporte y almacenamiento más
seguros dado el alto punto de inflamación
(150°C).

Escasa estabilidad oxidativa,
absorbe el agua del ambiente (vida
útil / período máximo de

Reduce peligro de explosiones por emanación de gases durante el almacenamiento.	almacenamiento inferior a seis meses). Requiere una planificación exacta de su producción y expedición.
---	--

FUENTE: *Biodiésel a partir de aceites de producción gastronómica, ingeniería de materiales UAP – Arequipa*

D. Propiedades del biodiésel

Para **Juan Carlos Vidal López y Claudia Alejandra Morgan López (2012)**, el biodiésel necesita disponer de unas especificaciones que enumere las propiedades y garantice la calidad del producto. Además, el biodiésel debe cumplir los requisitos para los combustibles minerales de automoción y que se encuentran recogidas en la norma. En el siguiente cuadro, se enumeran las especificaciones establecidas para el biodiésel y el método de ensayo correspondiente.

CUADRO 2.9. Propiedades del biodiésel

<i>Propiedad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Límites</i>		<i>Método de ensayo</i>
		<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	
Contenido en éster ^a	% (m/m)	96,5 ^b		EN 14103
Densidad a 15°C ^c	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C ^d	mm ² /g	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679 ^e
Contenido de azufre	mg/kg	-	10,0	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado) ^f	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Índice de cetano ^g		51,0		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total ^h	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación		Clase 1	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6,0	-	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g		120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)		12,0	EN 14103
Ésteres de metilo poli-insaturados ⁱ (> = a 4 dobles enlaces)	% (m/m)		1	
Contenido de metanol	% (m/m)		0,20	EN 14110
Contenido en monoglicéidos	% (m/m)		0,80	EN 14105
Contenido en diglicéidos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Contenido en triglicéidos ^j	% (m/m)		0,20	EN 14105
Glicerol libre ^j	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerol total	% (m/m)		0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K) ^k	mg/kg		5,0	EN 14108 EN 14109
Metales del grupo II (Ca+Mg) ^l	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg		10,0	EN 14107

Nota ¹ El Índice de Yodo es actualmente 140.

Fuente: *Wearcheckiberica. boletín mensual, septiembre, 2004*

Como se observa en las especificaciones, el valor de índice de yodo ha subido de 120 a 140. El índice de yodo mide el número de insaturaciones, y una mayor proporción de dobles enlaces supone una mayor tendencia a la oxidación.

La especificación de 120 podría excluir a los ésteres de girasol, algo más insaturados y con el índice de yodo más alto, pero en España al haberse fijado el índice de yodo en 140 ya no existe este problema con lo que sí que entrarían dentro de las especificaciones productos como el girasol, materia prima habitualmente utilizada para producir biodiésel en nuestro país.

2.2.4 PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

A. Materias primas para la producción de biodiésel

Las materias primas más comunes utilizadas para la fabricación de biodiésel son los aceites de fritura usados y el aceite de girasol. Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiésel (girasol, colza, soja, aceites de fritura usado, sebo de vaca).

Por otra parte, **Yagüe Aylón, A. (2003)** considera que la utilización de aceites usados es todavía significativa. A continuación, se detallan las principales materias primas para la elaboración de biodiésel:

• Aceites vegetales convencionales

- Aceite de girasol
- Aceite de colza
- Aceite de soja
- Aceite de coco
- Aceite de palma

- ***Aceites vegetales alternativos***

- Aceite de *Brassica carinata*
- Aceite de *Cynara cardunculus*
- Aceite de *Camelina sativa*
- Aceite de *Crambe abyssinica*
- Aceite de *Pogonius*
- Aceite de *Jatropha curcas*

- ***Aceites de semillas modificadas genéticamente***

- Aceite de girasol de alto oleico

- ***Grasas animales***

- Sebo de vaca
- Sebo de cordero

- ***Aceites de fritura usados***

- ***Aceites de otras fuentes***

- Aceites de producciones microbianas
- Aceites de microalgas

1. Aceites vegetales convencionales

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiésel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza (*Brassica napus*) se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol (*Helianthus annuus*) en los países mediterráneos del sur, como España o Italia (**Vicente 2001**).

La utilización de estos aceites para producir biodiésel en Europa ha estado asociada a las regulaciones de retirada obligatoria de tierras de la Política Agraria Común (PAC) que permite el cultivo de semillas oleaginosas a precios razonables. Sin embargo, la dedicación de sólo las tierras de retirada para la producción de materias primas energéticas supone un riesgo por cuanto estas superficies varían en el tiempo, ya que el régimen de retirada de tierras depende de la oferta y la demanda de cereales alimentarios, lo que implica que este índice está sujeto a alteraciones. En nuestro país, el uso de cultivos tradicionales como energéticos está condicionado además por la producción del aceite, ya que la producción media por hectárea de aceite de girasol resulta poco atractivo, desde el punto de vista del agricultor, para elegir este cultivo como fuente de obtención de biocarburantes.

2. Aceites vegetales alternativos

Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos. En este sentido, destacan la utilización, como materias primas de la producción de biodiésel, de los aceites de *Camelina sativa*, *Crambe abyssinica* y *Jatropha curcas*. Existen otros cultivos que se adaptan mejor a las condiciones de nuestro país y que presentan rendimientos de producción mayores. En concreto, se trata de los cultivos de *Brassica carinata* y *Cynara cardunculus*. La *Brassica carinata* es una alternativa real al secano y regadío extensivo. La *Cynara cardunculus* es un cultivo plurianual y permanente, de unos diez años de ocupación del terreno, y orientado fundamentalmente a la producción de biomasa, aunque también pueden aprovecharse sus semillas para la obtención de aceite. Se obtienen de 2.000 a 3.000 kilogramos de semillas, cuyo aceite sirve de materia prima para la fabricación de biodiésel (***Vicente: 1998, 2001***).

3. Aceites vegetales modificados genéticamente

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol o de *Camelina sativa*, mejoran la operatividad del biodiésel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado. Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiésel, los aceites con elevado contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto oleico (*Vicente: 1998, 2001*).

4. Aceites de fritura usados

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiésel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible. La producción de los aceites usados en España se sitúa en torno a las 750.000 toneladas/año, según cifras del 2004. Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo.

El informe sobre el marco regulatorio de los carburantes propone reciclar aceite de fritura en biodiésel. Esta alternativa es la que más ventajas tiene porque además de producir combustible elimina un residuo contaminante como es el aceite usado. Este aceite da problemas al depurar el agua; sin embargo, su recogida es problemática. La utilización de aceites usados presenta dificultades logísticas, no sólo por su recogida, como se ha dicho, sino también por su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo.

5. Grasas animales

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiésel. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales. La aplicación de grasas animales surgió a raíz de la prohibición de su utilización en la producción de piensos, como salida para los mismos como subproducto. Sin embargo, actualmente no existe un nivel de aplicación industrial en Perú.

6. Aceites de otras fuentes

Por otra parte, **Yagüe Aylón, A. (2003)** recalca que es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de micro algas.

7. Otras fuentes

Por último, cabe destacar que está en estudio la utilización de bioetanol y biometanol en el proceso de esterificación de dichos aceites para la producción de biodiésel, al igual que el desarrollo de cultivos específicos para fines energéticos, no alimentarios.

Por tanto, los biocarburantes presentan la particularidad de utilizar productos vegetales como materia prima y, por tanto hay que tener en cuenta las características de los mercados agrícolas, junto a la complejidad que ya de por sí presentan los mercados energéticos. En este sentido, tal como se comentó anteriormente, hay que destacar que el desarrollo de la industria de los biocarburantes no depende principalmente de la disponibilidad local de materia prima, sino de la existencia de una demanda suficiente, que puede servir para potenciar otras políticas como la agrícola.

B. El biodiésel de aceite usado de cocina

Durante el freído, los aceites vegetales presentan cambios físicos y químicos y se forman algunos compuestos indeseables y desconocidos. Los ésteres de ácidos grasos obtenidos de aceite usado, influyen las características del combustible (normalmente mezclado con petrodiesel), incrementando la viscosidad y reduciendo las propiedades de quemado en el motor. Debido a que las virtudes del biodiésel dependen de las características de la materia prima, se han establecido especificaciones para el biodiésel que varían alrededor de normas americanas y europeas básicamente. En *weremadu et a (2007)*, reporta mayores detalles sobre especificaciones en varios países para el biodiésel.

Estas especificaciones juegan un papel muy importante en el control de calidad de la industria de combustibles fósiles. La densidad por ejemplo, es una propiedad muy importante principalmente en el sistema de combustión porque influye la eficiencia de la atomización del combustible en los cilindros del motor. Se sabe que la densidad del biodiésel depende principalmente del contenido y tipo de alquilésteres y de los residuos de alcohol, por lo tanto, las propiedades están primeramente influenciadas por el tipo de aceite utilizado. Los valores de densidad para el biodiésel oscilan entre 850 y 900 Kg/m³ en muchos países entre los que está Colombia.

Héctor Chamorro y Antonio Sejias (2006) han observado que durante el freído, algunos triglicéridos se oxidan y polimerizan incrementando la viscosidad del aceite usado, por lo tanto, del biodiésel obtenido. La viscosidad de los ésteres depende de aceite de partida, es decir, de su materia insaponificable, su cantidad de agua y sus FFA, e igualmente de la eficiencia en la transesterificación. Bajos valores de viscosidad indican residuo elevado de alcohol y altos valores indican degradación térmica, oxidativa, y polimerización, provocando problemas en los inyectores

y sistema de bombeo, mala combustión, formación de depósitos y en general acortamiento de la vida del motor. Los valores de viscosidad cinemática en mm²/s establecidos en algunos países se encuentra entre 3.5 y 5, siendo para estados Unidos y Colombia el rango entre 1,9 y 6.0.

Por consiguiente, **Héctor Chamorro y Antonio Sejas (2006)** indican que el contenido de ésteres en el biodiésel final es una función de la materia insaponificable, la cantidad de agua inicial en el aceite, la cantidad de FFA, y la eficiencia del proceso de transesterificación en donde es de vital importancia el control sobre la relación molar alcohol: aceite, temperatura, tiempo de reacción, tipo de alcohol y concentración de catalizador bajo las cuales se lleva a cabo la conversión. La norma de porcentaje de ésteres en el biodiésel final para muchos países corresponde a valores superiores al 95%.

C. Producción de biodiésel

1. Materia prima: aceite vegetal usado (AVU)

El biodiésel se elabora por medio de la transesterificación, una reacción en la que se esterifican y se dividen los ácidos grasos a partir de moléculas de glicerina, en presencia de un catalizador. La receta para producir biodiésel a partir de aceite vegetal virgen (aceite que no ha pasado por una etapa de cocción) es simple: a 1 litro de aceite vegetal, añadir 200 ml de metanol y 3.5 g de hidróxido de sodio (el catalizador).

La receta es más complicada para producir biodiésel a partir de aceite vegetal usado. Las propiedades químicas de un aceite que ha sido calentado en una freidora en presencia de alimentos ricos en agua, tales como patatas congeladas, difieren de las del aceite virgen. Según **Héctor Chamorro (2006)**, si estamos frente a la presencia de agua y calor, se produce la hidrólisis pues las cadenas de ácidos grasos se separan de la parte de glicerina en la molécula del triglicérido,

formándose ácidos grasos libres. Con La presencia de estos ácidos, el pH del aceite disminuye y se hace necesario incrementar la cantidad de lejía para neutralizar su acidez.

2. Valorización del Aceite Vegetal Usado

a. Materiales

Lentes protectores y guantes, 10-15ml de una solución indicadora de fenolftaleína, 100 ml de alcohol isopropílico al 99%, tres vasos de precipitados de 50 ml, una bureta de 10-50 ml, un soporte para la bureta, un recipiente de 500 ml de hidróxido sódico limpiador, 1 litro de agua destilada o desionizada, un embudo, papel de pH, 250 ml de aceite vegetal usado.

b. Procedimiento

- ***Preparando la disolución a analizar***

1. Medir 10 ml de alcohol isopropílico en cada uno de los tres vasos de precipitados de 50ml.
2. Añadir 2-3 gotas de la disolución de fenolftaleína al alcohol de cada vaso de precipitados y agitar para mezclarlos líquidos.
3. Añadir 1 ml de aceite sin usar a cada vaso de precipitados y agitar para disolverlo.

- ***Preparando la disolución de referencia***

1. Disolver 1 gramo de hidróxido sódico en un litro de agua destilada.
2. Usando un embudo, verter la disolución en la bureta.

- **Realizando la valoración**

1. Colocar uno de los vasos de precipitados con la disolución a analizar debajo de la bureta.

2. Anotar la cantidad inicial de la disolución de referencia en la bureta.

3. Lentamente añadir la disolución de referencia, aproximadamente 0.5 ml de cada vez a la disolución de aceite y alcohol.

4. Agitar el vaso de precipitados.

5. Continuar añadiendo la disolución de referencia a la disolución de aceite y alcohol hasta conseguir un color rosa claro y que permanezca así durante 30 segundos aproximadamente.

6. Parar.

7. Anotar el volumen usado de la disolución de referencia (en ml) de la forma siguiente:

Volumen final – Volumen inicial = Disolución de referencia usada.

8. Repetir el procedimiento dos veces y anotar la cantidad usada de la disolución de referencia en ambas pruebas.

9. Calcular el volumen medio de la disolución de referencia usado en las tres pruebas (T)

10. Usar la fórmula indicada posteriormente para determinar la cantidad de catalizador y reactivos que hay que usar para hacer el biodiésel a partir de aceite vegetal usado. Por cada litro de aceite, añadir 200 ml de metanol y X gramos de hidróxido sódico, donde $X = T + 3.5$ gramos.

3. Produciendo biodiésel

Después de haber sido calculada la cantidad apropiada de catalizador (hidróxido sódico), ya se está listo para la producción del biodiésel. Estas instrucciones sirven para hacer lotes de 500 ml, pero la receta puede ser ampliada multiplicando las cantidades de aceite, metanol e hidróxido de sodio por el mismo factor.

a. Materiales

Metanol (no es necesario usar metanol de elevada calidad; puede comprarse a un precio más bajo como combustible para coches de carreras o anticongelante de combustibles), hidróxido sódico, aceite vegetal usado, recipientes enlatados con tapa, y un embudo de decantación para más de 120 ml de líquido.

b. Procedimiento

- **Produciendo metóxido de sodio**

1. Bajo la campana de gases, verter 100 ml de metanol e hidróxido de sodio
2. Con la tapa sellada ajustadamente, agitar el contenido del recipiente hasta que el hidróxido sódico se haya disuelto. Nota: La reacción es exotérmica y se puede apreciar el calentamiento de la disolución. También se producirá un pequeño incremento de la presión. Después de agitar la disolución durante varios minutos, abrir la tapa bajo la campana de gases para aliviar la presión.

- **Produciendo biodiésel**

1. Medir 500 ml de aceite vegetal usado.
2. Verterlo en el recipiente con el metóxido de sodio.
3. Agitar cuidadosamente la mezcla durante 10 minutos como mínimo.

4. Verter la mezcla en un embudo de decantación y dejarla asentar hasta el día siguiente (se comenzará a observar la separación entre la glicerina y el biodiésel a los 15 minutos; la glicerina es más densa y se depositará en el fondo del recipiente).

5. A la mañana siguiente, se observará que se ha formado una capa de glicerina en el fondo del embudo de decantación (presentará un color más oscuro).

Abrir la llave de paso para quitarla glicerina.

4. Lavado del biodiésel

De forma consecuente, **Héctor Chamorro y Antonio Seijas (2006)** nos indican que el biodiésel producido contiene pequeñas cantidades del catalizador sobrante (por definición, un catalizador no se transforma en producto), glicerina y metanol. Estas impurezas pueden reducir el rendimiento del combustible pero todas ellas son solubles en agua y pueden ser extraídas lavando el combustible con agua.

a. Equipo

Gafas protectoras y guantes, papel de pH capaz de medir pH entre 7 y 12, un frasco lavador con agua desionizada o destilada preferentemente, pequeños vasos de precipitados, vinagre.

b. Procedimiento

1. Lavar el biodiésel crudo, rociar suavemente agua en el interior del embudo de decantación, usando el frasco lavador. Se puede agitar el agua removiendo suavemente la mezcla. El tapón debe ser seguro.

2. Colocar el vaso de precipitados en la abrazadera.
3. Casi inmediatamente, se podrá observar la separación entre el agua y el biodiésel. El agua es más densa que el biodiésel y precipitará en el fondo del embudo. Después de 5-10 minutos, sacar el tapón y girar la llave de paso para escurrir el agua.
4. Introducir el papel indicador de pH en el aguade lavado para medir su pH.
5. Registrar el valor del pH. Suele ser muy básico, como mínimo en torno a 10 debido al hidróxido sódico residual del biodiésel.
6. Repetir los pasos anteriores hasta que el aguade lavado sea neutra (en torno a 7) y registrar el pH en cada prueba.

5. Deshidratado del biodiésel

Después del lavado, el biodiésel aparecerá turbio porque tiene moléculas de agua en suspensión. El agua reduce el rendimiento del combustible y debe ser extraída por deshidratación. Esto se consigue haciendo borbotear aire en el biodiésel. Las moléculas de agua en suspensión se unen a las burbujas de aire y son llevadas a la superficie del líquido, donde se evaporan.

a. Equipo

Aireador de acuario, tubería de silicona o PVC (el biodiésel disuelve el caucho)

b. Procedimiento

Deshidratar el biodiésel insuflando aire en él con un aireador de acuario durante aproximadamente 12 horas. Suspender la deshidratación cuando el biodiésel se ponga claro.

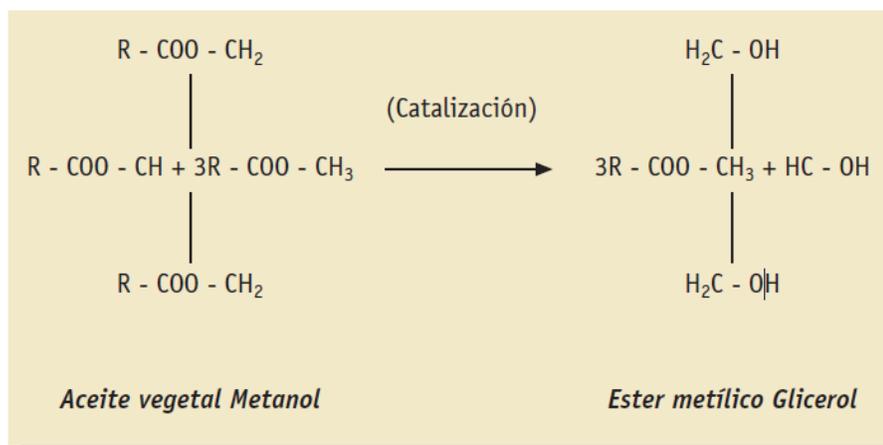
c. Reacciones en la producción de biodiesel

1. Reacciones de transesterificación de triglicéridos

Aunque la esterificación es un proceso posible, sin embargo, el método utilizado comercialmente para la obtención de biodiésel es la transesterificación (también llamada alcoholólisis).

Oscar Espinoza Loayza (2002) nos indica que se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina (que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.). La reacción de transesterificación se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanolólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol (aunque se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico). El triglicérido es el principal componente del aceite vegetal o la grasa animal. Además, la formación de la base de la glicerina, inmisible con los ésteres metílicos, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción hacia la derecha, alcanzándose conversiones cercanas al 100%.

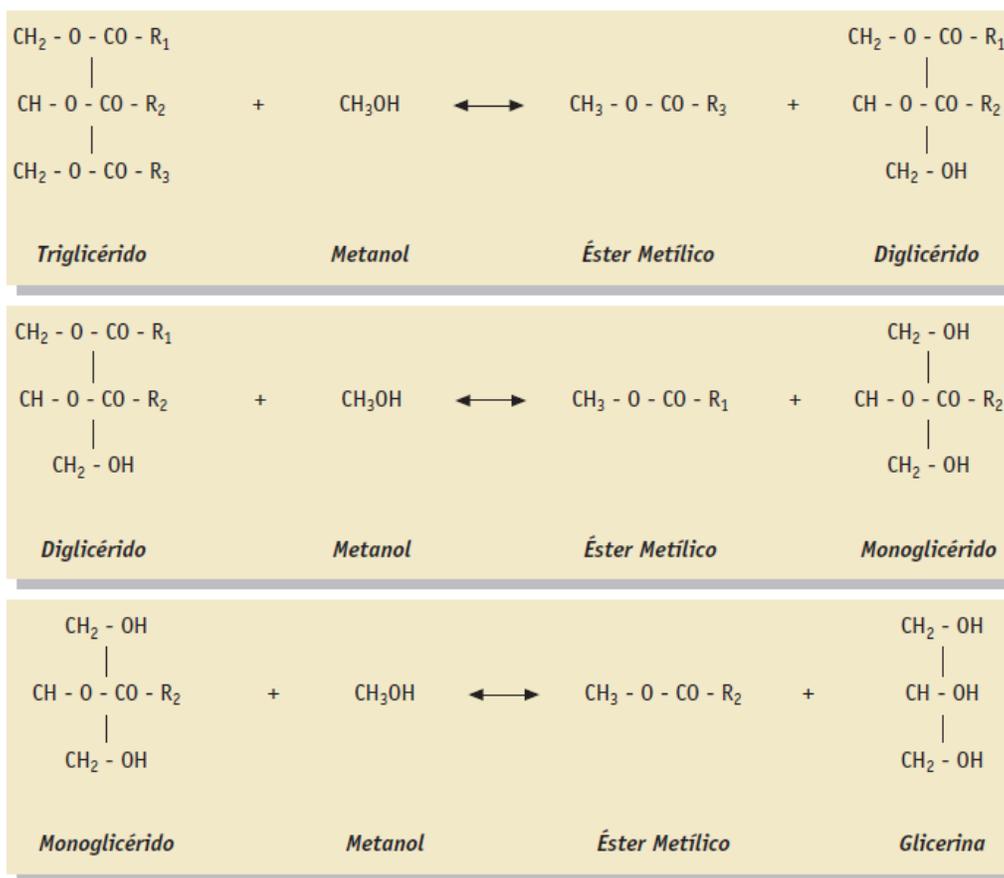
CUADRO 2.10. Reacción de Transesterificación



Fuente: Programa APGEP-SENREM Convenio USAID-CONAM

En la siguiente gráfica, se presentan las diferentes reacciones que tienen lugar en la transesterificación, la cual consiste químicamente en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción, un mol de éster metílico es liberado.

CUADRO 2.11. Reacciones Implicadas en la transesterificación



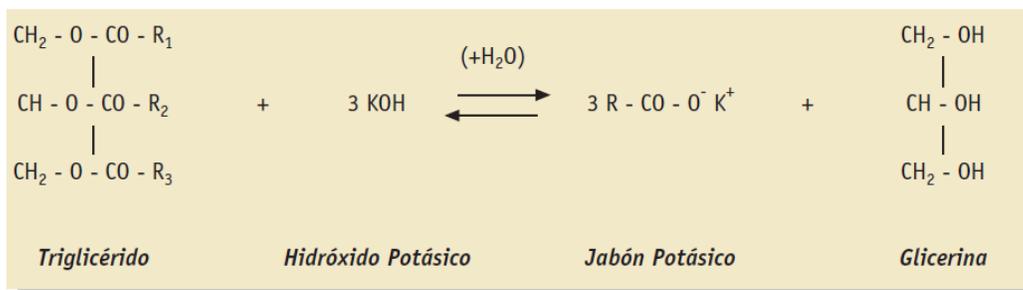
Fuente: Programa APGEP-SENREM Convenio USAID-CONAM

Según **Oscar Espinoza Loayza (2002)**, en la reacción de transesterificación se utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final, que sin él no sería posible esta reacción. Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos (H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 , RSO_3), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas, SO_4/ZrO_2 , WO_3/ZrO_2), básicos heterogéneos

(MgO, CaO, Na/NaOH/Al₂O₃), básicos homogéneos (KOH,NaOH) o enzimáticos (Lipasas: Candida, Penicillium, Pseudomonas); de todos ellos, los catalizadores que se suelen utilizar a escala comercial son los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. En el caso de la reacción de transesterificación, cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por ello es frecuente la utilización de derivados de ácidos más activos.

La saponificación está favorecida cuando se utiliza el hidróxido potásico o sódico, ya que sus moléculas contienen los grupos OH responsables de esta reacción. Así, cuando se utilizan estos catalizadores, se debe tener especial precaución con las condiciones de reacción, especialmente la temperatura y la cantidad de catalizador básico, para reducir al máximo la saponificación. Sin embargo, como menciona **Oscar Espinoza Loayza (2002)** los metóxidos sólo contienen el grupo OH como impureza, por lo que su utilización no produce prácticamente jabones por saponificación. En cualquier caso, se deben utilizar aceites y alcoholes esencialmente anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones por saponificación. Por este motivo, se debe eliminar el agua, mediante evaporación, en los aceites con altos contenidos en humedad antes de llevar a cabo la transesterificación.

CUADRO 2.12. Reacción de saponificación

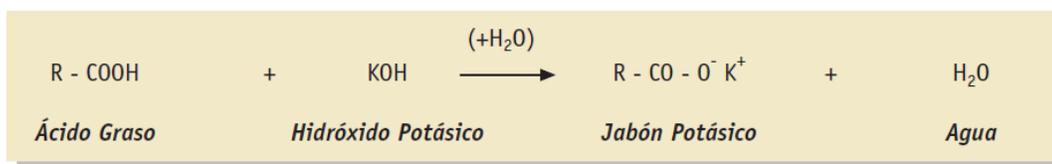


Fuente: Programa APGEP-SENREM Convenio USAID-CONAM

Por otra parte, hay dos maneras de eliminar los ácidos grasos libres presentes en el aceite. Así, se puede proceder a su neutralización, ya que los ácidos grasos presentes en el aceite vegetal pueden reaccionar con el catalizador básico (fundamentalmente NaOH) en presencia de agua, ocurriendo asimismo una reacción indeseable, produciendo como en el caso anterior jabón.

Otra manera de eliminar los ácidos grasos libres es mediante una reacción de esterificación con un catalizador ácido con lo que se formaría el éster metílico.

CUADRO 2.13. Reacción de neutralización de ácidos grasos libres



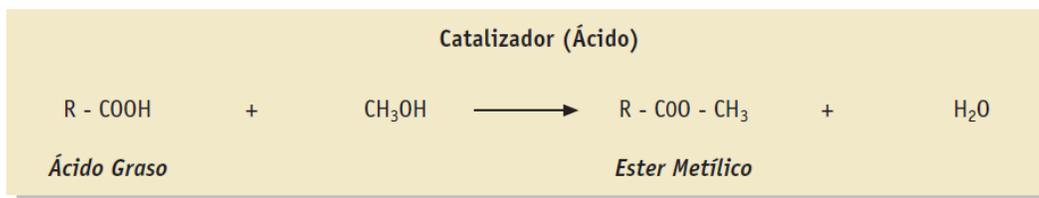
Fuente: Programa APGEP-SENRE Convenio USAID-CONAM

2. Reacciones de esterificación de ácidos grasos

El proceso que se utiliza para la producción de biodiésel es la transesterificación, sin embargo, la esterificación se viene aplicando combinándolo con la transesterificación de cara a aprovechar el subproducto de ácidos grasos y producir asimismo biodiésel. Dada la importancia de los ésteres, se han desarrollado numerosos procesos para obtenerlos. Para **Libio Villar Reátegui (2002)**, el más común es el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (*esterificación de Fischer*). El ácido sulfúrico sirve en este caso tanto de catalizador como desustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. A veces es sustituido por ácido fosfórico concentrado.

En la práctica, este procedimiento tiene varios inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter, y el ácido orgánico puede sufrir decarboxilación.

CUADRO 2.14. Reacción de Esterificación



Fuente: Programa APGEP-SENREM Convenio USAID-CONAM

Los catalizadores que se utilizan en este tipo de reacción, al contrario que en el proceso de transesterificación que habitualmente son hidróxidos, son ácidos o enzimáticos.

En el caso de la esterificación, al contrario que en la reacción de transesterificación, al utilizar catalizadores ácidos no es necesario recurrir a trabajar con temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos.

3. Catalizadores

Tal y como lo indica **Libio Villar Reátegui (2002)**, es necesario contar con catalizadores para que ocurra la reacción y sea posible desde un punto de vista cinético. Estos catalizadores, en el caso de la transesterificación, pueden ser ácidos homogéneos, ácidos heterogéneos, básicos homogéneos o enzimáticos, siendo los catalizadores básicos los que se utilizan a nivel industrial en la transesterificación ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas.

El único problema de estos catalizadores es que deben ser anhidros para evitar que se produzcan reacciones secundarias, como la de saponificación, que reducirían el rendimiento del

proceso. Por otra parte, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralice con el catalizador y se formen también jabones.

Se ha observado que la reacción es más rápida cuando se cataliza con un alquilo *Freedman (1986)*. En el primer paso de la reacción, un ion óxido alquilo ataca al grupo carbonilo de la molécula del triglicérido. La reacción de este producto intermedio con un alcohol produce un ion del grupo alcóxido en el segundo paso. En la última etapa la redistribución del compuesto tetraedro intermedio da lugar a un éster y a diglicerina.

Asimismo, se pueden utilizar catalizadores ácidos de Bronsted, preferiblemente sulfúricos y sulfónicos. Estos catalizadores producen rendimientos muy altos en ésteres alquílicos pero las reacciones son lentas, necesitando temperaturas superiores a los 100°C y más de 3 horas para completar la conversión. La acidificación del grupo carbonil del éster conduce a la carbonatación, y posteriormente, el ataque nucleófilo del alcohol produce el compuesto tetraédrico intermedio.

Esto elimina el glicerol para formar un nuevo éster y regenerar el catalizador. Se ha probado la metanólisis del aceite de soja en presencia del 1% de H₂SO₄ con una relación molar alcohol/aceite de 30:1 *Freedman (1986)*. A una temperatura de reacción de 65 °C se completó la conversión en 20 horas, mientras la butanólisis a 177 °C y la etanólisis a 7 °C usando las mismas cantidades de alcohol, necesitaron 3 y 18 horas, respectivamente.

En el cuadro siguiente, se resumen las ventajas y desventajas de utilización de los distintos catalizadores para el proceso de transesterificación:

CUADRO 2.15. Ventajas e inconvenientes de los catalizadores utilizados en la transesterificación

Catálisis Básica (homogénea)	Catálisis Ácida (homogénea)
<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none">• Esterifica ácidos grasos• No se forman jabones• Purificación más simple <p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none">• Velocidad de reacción baja• Exceso de alcohol elevado• Condiciones enérgicas: P, T• Neutralización del catalizador	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none">• Esterifica ácidos grasos• No se forman jabones• Purificación más simple <p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none">• Velocidad de reacción baja• Exceso de alcohol elevado• Condiciones enérgicas: P, T• Neutralización del catalizador
Catálisis Enzimática	Catálisis Heterogénea
<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none">• Esterifica ácidos grasos• No se forman jabones• Purificación más simple <p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none">• Velocidad de reacción baja• Exceso de alcohol elevado• Condiciones enérgicas: P, T• Neutralización del catalizador	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none">• Reutilización del catalizador• Facilidad de procesos continuos• No se forman jabones• Purificación más sencilla <p>INCONVENIENTES</p> <ul style="list-style-type: none">• Transferencia de materia

Fuente: Grupo de Ingeniería Química y Ambiental (GIQA) Universidad Rey Juan Carlos

4. Variables que afectan a la reacción de transesterificación

Entre las variables más importantes que afectan a la reacción de transesterificación se cuentan las siguientes:

a. Acidez y humedad

Los contenidos de ácidos grasos y de humedad son los parámetros determinantes de la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal.

Para que se realice la reacción completa se necesita un valor de ácidos grasos libres,

del inglés Free Fatty Acid (FFA), menor al 3%. Cuanta más alta es la acidez del aceite, menor es la conversión. Además, tanto el exceso como la deficiencia de catalizador pueden producir la formación de jabón. *Dorado (2002)*, que como se ha comentado, la presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los catalizadores formando jabones.

Se ha estudiado la transesterificación del sebo de animales catalizado con NaOH en presencia de FFA y agua. Sin añadir ninguno de los dos componentes, FFA y agua, el rendimiento de los ésteres metílicos era alto. Cuando se añadía un 0.6% de FFA el rendimiento de la reacción disminuía a valores inferiores al 5%, para cualquier nivel de agua añadida. Cuando se incrementaba un 0.9% de agua, sin añadir FFA, el rendimiento se situaba en el 17%. Si las grasas animales o los aceites vegetales, con valores altos de FFA, se quieren utilizar para producir biodiésel, es necesario refinarlos con una neutralización, utilizando una solución de NaOH para eliminar los ácidos grasos libres.

Igualmente, el proceso de catálisis ácida también se puede usar para la esterificación de estos ácidos grasos *Ma (1998)*. Las materias primas usadas como base para el proceso de alcoholisis deben cumplir ciertas especificaciones. Los triglicéridos deben tener un valor ácido bajo y los materiales deben contener baja humedad. La adición de catalizadores de hidróxido de sodio compensa la alta acidez, pero el jabón resultante provoca un aumento de viscosidad o de formación de geles que interfieren en la reacción y en la separación del glicerol. Cuando no se dan estas condiciones los rendimientos de la reacción se reducen sustancialmente. El hidróxido y metóxido de sodio o de potasio deben mantener un grado de humedad bajo. Su contacto con el aire disminuye la efectividad del catalizador por su interacción con el dióxido de carbono y la humedad.

Actualmente, la mayor parte del biodiésel producido, procede de aceites vegetales al que se le añade metanol y un catalizador alcalino. Sin embargo, hay muchos aceites de bajo costo y grasas animales que pueden ser utilizados. Su problema radica en que suelen contener gran cantidad de ácidos grasos que no se pueden convertir en biodiésel usando catalizadores alcalinos. En estos casos, es necesario hacer la esterificación en dos etapas: inicialmente debe realizarse un pretratamiento para convertir los *FFA* en ésteres metílicos con un catalizador ácido, y en un segundo paso se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción.

b. Tipo de catalizador y concentración

Los catalizadores empleados para la transesterificación de los triglicéridos se pueden clasificar en alcalinos, ácidos, enzimáticos o catalizadores heterogéneos, siendo los básicos y en particular los hidróxidos los más utilizados. Si el aceite usado tiene un alto grado de ácidos grasos y elevada humedad los catalizadores ácidos son los más adecuados. Estos ácidos pueden ser sulfúrico, fosfórico o ácido sulfónico orgánico. La metanólisis del sebo de animal se ha estudiado con NaOH y NaO Me. Comparando los dos catalizadores, el NaOH ha producido mejores resultados que el NaO Me *Ma (1998)*. El metóxido de sodio provoca la formación de muchos subproductos, principalmente sales de sodio, que deben eliminarse posteriormente.

En los procesos de metanólisis alcalina, los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico, ambos en concentraciones de 0.4 a 2% v/v de aceite. Aceites, tanto refinados como crudos, con un 1% de catalizador (tanto hidróxido sódico o potásico) han tenido muy buenos resultados. La metanólisis del aceite de soja ha producido sus mejores

resultados de rendimiento y viscosidad con una concentración de 1% de hidróxido potásico (*Tomasevic, 2003*).

Se han probado catalizadores de metales alcalino-térreos en la transesterificación de aceites de colza. El proceso se lleva a cabo si aparecen iones de metóxido en la reacción intermedia. Los hidróxidos alcalino-térreos, alcóxidos y óxidos catalizan la reacción más lentamente (*Gryglewicz, 1999*).

La actividad catalítica del óxido de magnesio, hidróxido de calcio, óxido de calcio, metóxido de calcio, hidróxido de bario y, por comparación, hidróxido de sodio se ha evaluado en la transesterificación del aceite de colza. De ellos, el hidróxido sódico ha producido la mayor actividad catalítica. El grado de substratos que reaccionaron fue del 85% en 30 minutos y de 95% después de 1.5 horas, lo que representa un valor cercano al equilibrio. El hidróxido de bario tuvo un rendimiento ligeramente inferior con un valor del 75% después de 30 minutos, mientras que el metóxido de calcio reaccionó sólo en un 55%, en este mismo tiempo. Rendimientos menores se obtuvieron con CaO, mientras que el óxido de magnesio y el hidróxido cálcico no presentaron actividad catalítica.

c. Relación molar de alcohol / aceite y tipo de alcohol

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. La relación estequiométrica requiere tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para producir tres moles de esteres y un molde glicerol. Según **Torres Carrera (2010)**, la transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 6:1. En cambio un valor alto de relación molar de alcohol afecta a la separación de glicerina

debido al incremento de solubilidad. Cuando la glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres.

La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanolisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanolisis esta emulsión desciende rápidamente formándose una capa rica en glicerol quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico. En cambio, **Torres Carrera (2010)** considera que en la etanolisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los esteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéricos y diglicéricos intermedios, que contienen tanto grupos hidróxidos polares como cadenas de hidrocarburos no polares.

d. Efecto del tiempo de reacción y temperatura

La conversión aumenta con el tiempo de reacción. Así, Feedman y otros investigadores **FREEDMAN (1984)** transesterificaron aceite de cacahuete, semilla de algodón, girasol y soja con una relación molar de 6:1 de metanol, con un catalizador de metóxido sódico al 0.5% a 60°C según el autor. Después de 1 minuto se observó un rendimiento de aproximadamente el 80% para la soja y el girasol, después de una hora la conversión era la misma para los cuatro, con un valor aproximado del 93%.

La transesterificación se puede producir a diferentes temperaturas, dependiendo del tipo de aceite. En el caso de aceite refinado (aceite libre de olores, o agentes distintos a aceite, listo para ser usado para alimentos) con metanol (6:1) al 1% NaOH, la reacción se estudió a tres temperaturas diferentes. Después de 6 minutos los rendimientos fueron 94%, 87% y 64% para temperaturas de 60, 45 y 32°C, respectivamente. Después de una hora la formación del éster era idéntica para 60 y 45°C y ligeramente menor para 32°C.

2.2.5 PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE BIODIÉSEL

Tal y como se ha comentado, químicamente, *la transesterificación* –proceso industrial utilizado en su producción- consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

En este punto se describirán los diferentes procesos para la producción de biodiésel entre los que se incluyen el proceso general de transesterificación y el proceso general de esterificación, aunque habitualmente en este último el proceso se utiliza en combinación con el de transesterificación a partir de los ácidos grasos, subproductos de este proceso, para la producción de biodiésel. Además también se comentarán estos procesos en discontinuo y en continuo, para finalizar con el proceso en condiciones supercríticas donde no es necesario añadir catalizadores.

A. Proceso general de transesterificación

Aunque todas ellas tienen en común los aspectos mencionados en el punto anterior de producción de biodiésel mediante el proceso de transesterificación, sin embargo existen múltiples opciones de operación viables para la fabricación de biodiésel. De igual forma, **Torres Carrera**

(2010) sustenta en su teoría que muchas de estas tecnologías pueden ser combinadas de diferentes maneras variando las condiciones del proceso y la alimentación del mismo. La elección de la tecnología será función de la capacidad deseada de producción, alimentación, calidad y recuperación del alcohol y del catalizador.

En general, plantas de menor capacidad y diferente calidad en la alimentación suelen utilizar procesos Batch o discontinuos. Los procesos continuos, sin embargo, son más idóneos para plantas de mayor capacidad que justifique el mayor número de personal y requieren una alimentación más uniforme.

1. Proceso Discontinuo

Es el método más simple para la producción de biodiésel donde se han reportado ratios 4:1 (*alcohol: triglicérido*). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas.

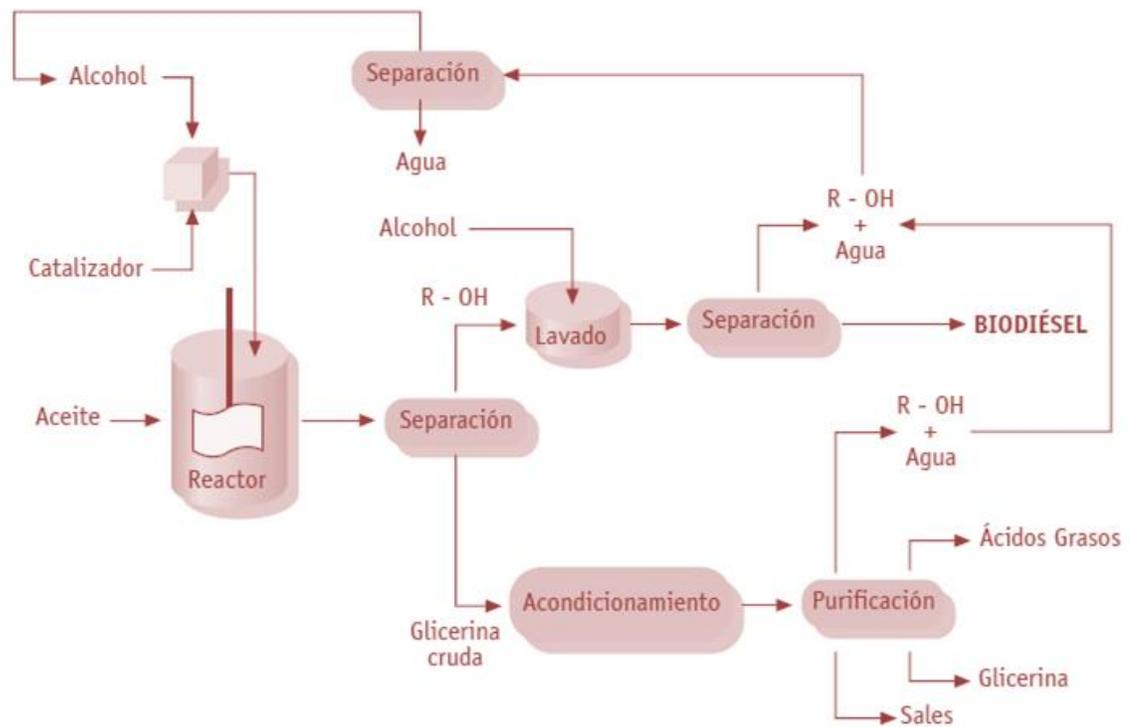
Según **Miren García (2014)**, el catalizador más común es el NaOH, aunque también se utiliza el KOH, en rangos del 0,3% al 1,5% (dependiendo que el catalizador utilizado sea KOH o NaOH). Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase ester. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94%.

En la transesterificación, tal y como se comentó anteriormente, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción.

Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, así como lo indica **Miren García (2014)** que para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%. Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol: aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora.

En la gráfica se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación discontinuo.

CUADRO 2.16. Proceso de Transesterificación



FUENTE: Adaptación del gráfico del Grupo de Ingeniería Química y Ambiental (GIQA)

Universidad Rey Juan Carlos

2. Proceso Continuo

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

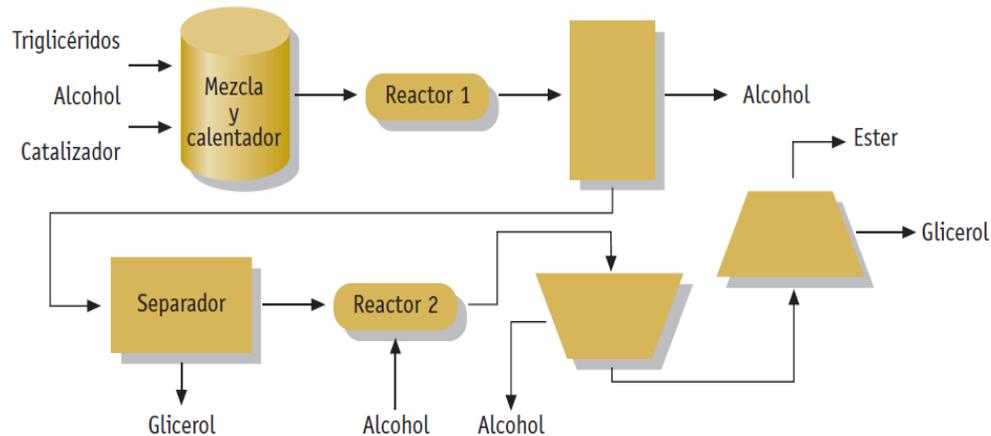
Un elemento esencial en el diseño de los reactores *CSTR* es asegurarse que la mezcla se realiza convenientemente para que la composición en el reactor sea prácticamente constante. Esto tiene el efecto de aumentar la dispersión del glicerol en la fase éster.

El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa. Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. Según **Noelia Misiego (2014)**, el reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial. Este tipo de reactor de flujo pistón, Plug Flow Reactor (PFR), se comporta como si fueran pequeños reactores CSTR en serie. El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) –con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menor es para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

En la gráfica se presenta un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación mediante reactores de flujo pistón. En este proceso, se introducen los triglicéridos con el alcohol y el catalizador y se somete a diferentes operaciones (se utilizan dos reactores) para dar lugar al éster y la glicerina.

CUADRO 2.17. Proceso de producción de biodiésel mediante reactores de flujo

pistón



Fuente: NREL

Dentro de la catálisis heterogénea, los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con súper ácidos *Granados (2005)* que a su vez presentan una elevada velocidad de reacción de transesterificación si bien se necesitan dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua. De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en *FFA* se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de *FFA* por debajo del 1%. Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiésel puesto que es un subproducto del proceso.

3. Proceso de Esterificación

El más común consiste en el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente -en los procesos de esterificación se suelen utilizar catalizadores ácidos con ácido

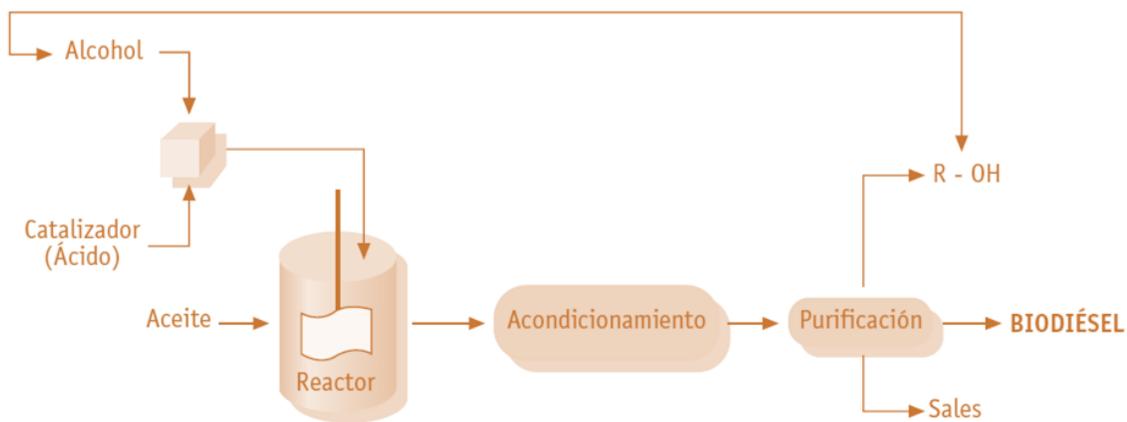
sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (*esterificación de Fischer*).

El ácido sulfúrico sirve en este caso tanto de catalizador como de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. A veces, es sustituido por ácido fosfórico concentrado.

En la práctica, este procedimiento tiene varios inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter y el ácido orgánico puede sufrir de carboxilación.

A continuación, se observa el gráfico de una planta con proceso de esterificación.

CUADRO 2.18. Proceso de esterificación



Fuente: Adaptación gráfico del Grupo de Ingeniería Química y Ambiental (GIQA),

Universidad Rey Juan Carlos

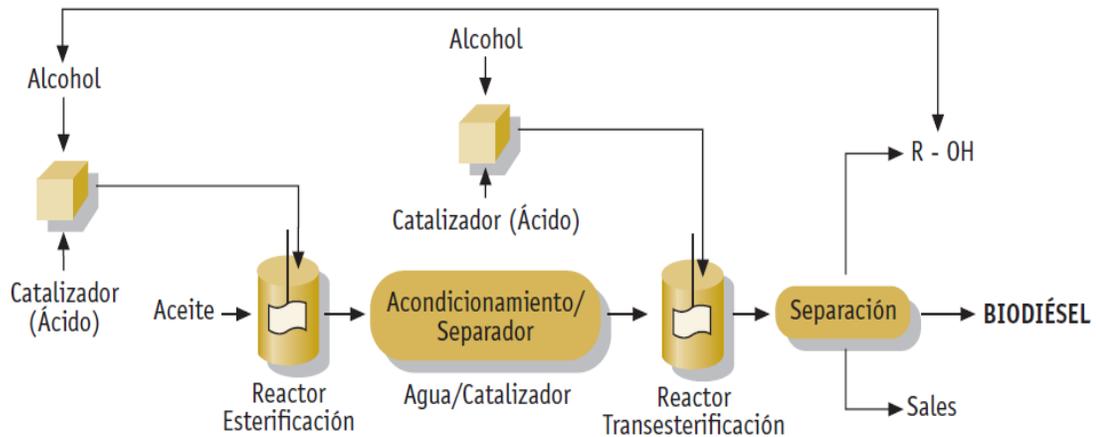
4. Proceso Combinado Esterificación-Transesterificación

Este tipo de procesos refina los ácidos grasos aparte del sistema de alimentación o mediante un tratamiento diferenciado en la unidad de esterificación. Se añaden los catalizadores cáusticos y el producto de reacción se separa mediante centrifugación (*proceso llamado Caustic Stripping*).

Los aceites refinados son secados y enviados a la unidad de transesterificación para un proceso posterior. De esta manera, los ácidos grasos pueden ser transformados en ésteres metílicos mediante un proceso ácido de esterificación. Los procesos de catálisis ácida pueden ser usados para la esterificación directa de los ácidos libres (*FFA*). Una alternativa a esto sería utilizar un catalizador básico para formar deliberadamente jabón en el *FFA*. El jabón es recuperado, el aceite seco y posteriormente utilizado en un sistema convencional mediante catalizadores básicos.

El gráfico de proceso de esterificación/transesterificación:

CUADRO 2.19. Proceso de producción de biodiésel mediante esterificación/transesterificación, proceso de catálisis ácida



Fuente: Adaptación gráfico del Grupo de Ingeniería Química y Ambiental (GIQA)

Universidad Rey Juan Carlos

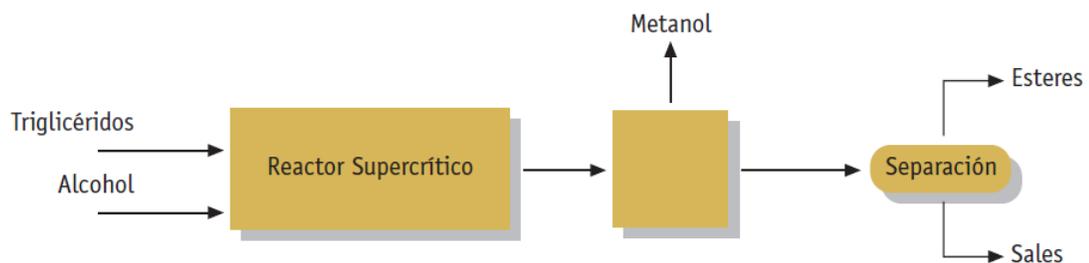
5. Proceso en condiciones supercríticas

Cuando un fluido o gas es sometido a temperaturas y presiones que exceden su punto crítico, aparecen una serie de propiedades inusuales. Desaparece la diferencia entre la fase líquida y vapor, existiendo solo una fase de fluido presente. Además, los disolventes que contienen grupos OH, como el agua o alcoholes primarios, toman las propiedades de superácidos.

Un ejemplo de sistema sin catalizadores es el que utiliza un elevado ratio de alcohol: aceite (42:1). Bajo condiciones supercríticas (350 a 400°C y $P > 80$ atm) la reacción se completa en 4 minutos. Los costes de instalación y los costes de operación son más altos y la energía consumida mayor, por lo que aunque los resultados mediante este proceso son muy interesantes, el escalado de estas instalaciones a nivel industrial puede ser difícil.

En la gráfica se representa el diagrama de bloques de un proceso en el que se utiliza un reactor supercrítico, sin necesidad de añadir catalizadores.

CUADRO 2.20. Proceso de producción de biodiésel mediante proceso supercrítico



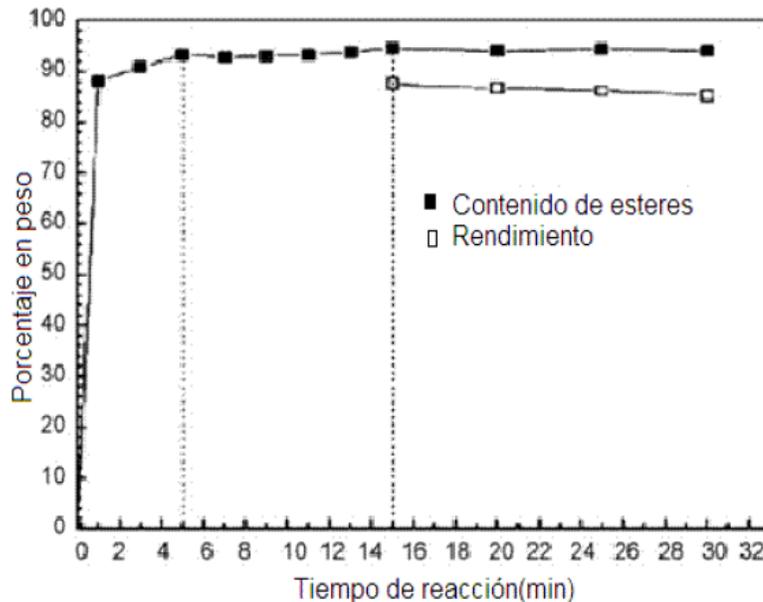
Fuente: NREL

B. Influencia de parámetros físicos y químicos en la transesterificación

1. Tiempo de reacción

La conversión de triglicéridos en ésteres metílicos aumenta con el tiempo de reacción, sin embargo, un tiempo excesivo no aumenta los rendimientos.

IMAGEN 2.1. Variación del porcentaje de Ésteres en Función del Tiempo para transesterificación de aceite usado de cocina A 70°C, 1.1%



Fuente: *Leung and Guo, Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production*

En la figura de **Leung y Guo**, se muestra que antes de dos horas de reacción, el rendimiento aumenta con una gran pendiente; sin embargo, después de este tiempo, el rendimiento (medido como porcentaje en peso de alquil ésteres) se mantiene estable en un valor fijo cercano al 92% bajo condiciones de 70°C, 1.1% de hidróxido de sodio y metanol. Este comportamiento es propio para el aceite usado de cocina transesterificado.

Freedman y otros investigadores en 1984 transesterificaron aceite no usado de maní, semilla de algodón, girasol y soya, con una relación molar de alcohol aceite de 6:1, con catalizador

metóxido de sodio al 0.5 % a 60°C según el autor. Después de un minuto se observó un rendimiento de aproximadamente el 80% para la soya y el girasol; después de una hora, la conversión era la misma para los cuatro aceites, con un valor aproximado de 93%.

2. Acidez y humedad

Estos parámetros son muy importantes en la viabilidad del proceso de transesterificación del aceite vegetal. Para que la reacción sea completa, es necesario que el contenido de ácidos grasos libres conocidos como *FFA*, sea menor al 3 %. Cuanto mayor sea la acidez del aceite, menor será la conversión en metilésteres. Igualmente un exceso o una deficiencia de catalizador se pueden traducir en formación de jabones. La presencia de humedad disminuye el rendimiento de la reacción, pues el agua reacciona con los catalizadores formando jabones. (Leung, 2006)

Se ha estudiado la transesterificación del sebo de animales catalizado con hidróxido de sodio en presencia de *FFA* y agua. Sin añadir ninguno de los dos componentes, *FFA* y agua, el rendimiento de los ésteres metílicos era alto, 45%, comparativamente con 0.3, 0.6 y 0.9 % de agua añadida. Cuando se añadía un 0.6% de *FFA* el rendimiento de la reacción disminuía a valores inferiores al 5%, para cualquier nivel de agua añadida. Cuando se incrementaba un 0.9% de agua, sin añadir *FFA*, el rendimiento se situaba en el 17%. Si las grasas animales o los aceites vegetales, con valores altos de *FFA*, se quieren utilizar para producir biodiésel, es necesario refinarlos con una neutralización, utilizando una solución de hidróxido de sodio para eliminar los ácidos grasos libres. Igualmente, el proceso de catálisis ácida también se puede usar para la esterificación de estos ácidos grasos. (Leung, 2006)

Así como lo indican **Miren García y Noelia Misiego (2014)**, las materias primas usadas como base para el proceso de alcoholólisis deben cumplir ciertas especificaciones. Los triglicéridos deben tener un valor ácido bajo y los materiales deben contener baja humedad. La adición de catalizadores como hidróxido de sodio compensa la alta acidez, pero el jabón resultante provoca un aumento de viscosidad o de formación de geles que interfieren en la reacción y en la separación del glicerol. Cuando no se dan estas condiciones los rendimientos de la reacción se reducen sustancialmente. El hidróxido y metóxido de sodio o de potasio deben mantener un grado de humedad bajo. Su contacto con el aire disminuye la efectividad del catalizador por su interacción con el dióxido de carbono y la humedad.

Actualmente, la mayor parte del biodiésel producido, procede de aceites vegetales al que se le añade metanol y un catalizador alcalino. Sin embargo hay muchos aceites de bajo costo y grasas animales que pueden ser utilizados. Su problema radica en que suelen contener gran cantidad de ácidos grasos que no se pueden convertir en biodiésel usando catalizadores alcalinos. En estos casos es necesario hacer la esterificación en dos etapas: inicialmente debe realizarse un pretratamiento para convertir los *FFA* en ésteres metílicos con un catalizador ácido, y en un segundo paso se realiza la transesterificación con un catalizador alcalino, para completar la reacción.

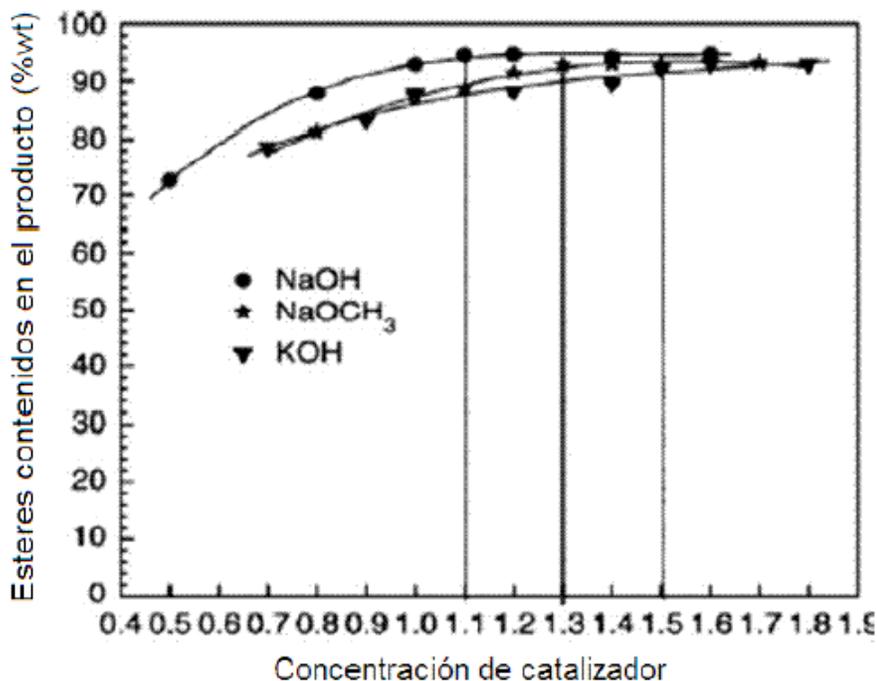
3. Tipo de catalizador y concentración

En los procesos de metanólisis alcalina, los principales catalizadores usados han sido el hidróxido potásico y el hidróxido sódico, ambos en concentraciones de 0.4 a 2% v/v de aceite. Aceites, tanto refinados como crudos, con un 1% de catalizador (tanto hidróxido sódico o potásico) han tenido muy buenos resultados lo que implica altos rendimientos y cortos tiempos de reacción. La metanólisis del aceite de soja usado, ha obtenido 85% de rendimiento de esterés, con una

concentración de 1,3% de hidróxido potásico cuando se comparó con hidróxido de sodio, a 25°C de temperatura, en relaciones molares desde 4.5 hasta 9:1 con metanol.

Meng et al en 2008 ha reportado que en la transesterificación de aceite usado de cocina utilizó 1 % de hidróxido de sodio, y obtuvo los mayores rendimientos. Similarmente, Yuan et al⁵⁸, en 2008, usando la metodología de superficie de respuesta, encontró los mismos resultados. Con la catálisis alcalina, el porcentaje en peso de catalizador entre 0.5 y 1%, alcanza rendimientos entre 94 y 99% de obtención de alquilesteres. *Leung y Guo*, en 2006 analizaron el efecto de tres catalizadores básicos en la transesterificación de aceite usado de cocina, el cual se encuentra representado en la siguiente imagen.

IMAGEN 2.2. Contenido de ésteres en función a la concentración de catalizador para la transesterificación de aceite usado de cocina



Fuente: Leung y Guo, Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiésel production

Se observa, que entre NaOH, NaOCH₃ y KOH, los tres catalizadores tienen altos rendimientos. Sin embargo, el hidróxido de sodio tiene un rendimiento más alto con respecto a los otros dos catalizadores alcalinos en el porcentaje de contenido de ésteres, para el valor de 1.1 % en peso de catalizador.

Miren García y Noelia Misiego (2014) han probado catalizadores de metales alcalino-térreos en la transesterificación de aceites de colza. El proceso se lleva a cabo si aparecen iones de metóxido en la reacción intermedia. Los hidróxidos alcalino-térreos, alcóxidos y óxidos catalizan la reacción más lentamente.

La actividad catalítica del óxido de magnesio, hidróxido de calcio, óxido de calcio, metóxido de calcio, hidróxido de bario y, por comparación, hidróxido de sodio se ha evaluado en la transesterificación del aceite de colza. De ellos, el hidróxido sódico ha producido la mayor actividad catalítica. El porcentaje de substratos que reaccionaron fue del 85% en 30 minutos y de 95% después de 1.5 horas, lo que representa un valor cercano al equilibrio. El hidróxido de bario tuvo un rendimiento ligeramente inferior con un valor del 75% después de 30 minutos, mientras que el metóxido de calcio reaccionó sólo en un 55%, en este mismo tiempo. Rendimientos menores se obtuvieron con CaO, mientras que el óxido de magnesio y el hidróxido cálcico no presentaron actividad catalítica.

4. Relación molar alcohol: aceite

Una de las variables más importantes que afectan al rendimiento del proceso es la relación molar del alcohol y los triglicéridos. La transesterificación es una reacción de equilibrio que necesita un exceso de alcohol para conducir la reacción al lado derecho. Para una conversión máxima se debe utilizar una relación molar de 7:1 según los resultados obtenidos por **Leung y Guo** con aceite de cocina usado y metanol, desconociéndose la concentración de catalizador y la

temperatura de reacción para estos resultados. En cambio un valor alto de relación molar de alcohol afecta a la separación de glicerina debido al incremento de solubilidad. Cuando la glicerina se mantiene en la solución hace que la reacción revierta hacia la izquierda, disminuyendo el rendimiento de los ésteres.

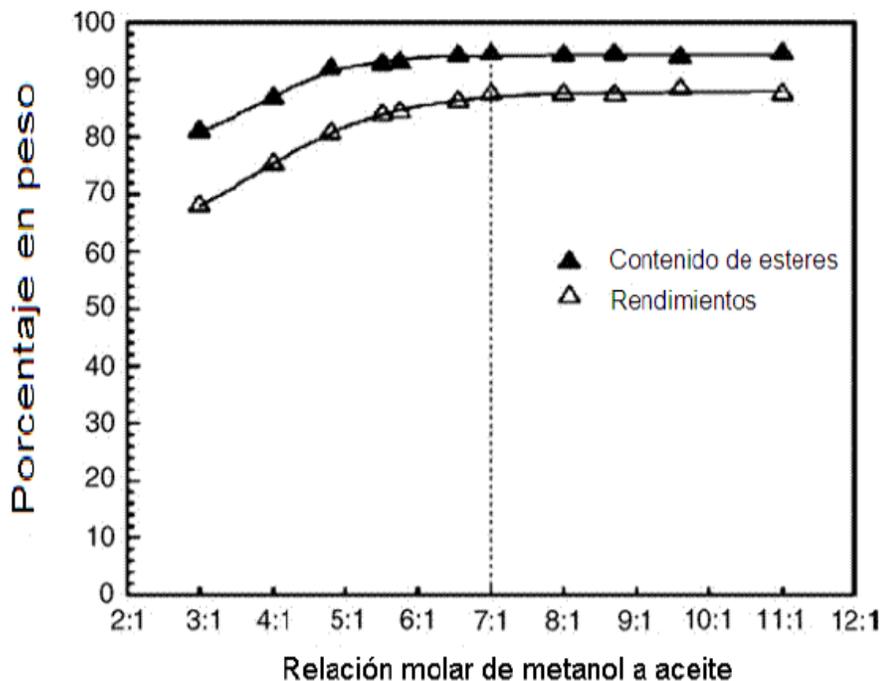
La formación de éster etílico comparativamente es más difícil que la de éster metílico, especialmente la formación de una emulsión estable durante la etanólisis es un problema. El etanol y el metanol no se disuelven con los triglicéridos a temperatura ambiente y la mezcla debe ser agitada mecánicamente para que haya transferencia de masa. Durante la reacción generalmente se forma una emulsión, en la metanólisis esta emulsión desciende rápidamente formándose una capa rica en glicerol quedándose en la parte superior otra zona rica en éster metílico.

En cambio en la etanólisis esta emulsión no es estable y complica mucho la separación y purificación de los ésteres etílicos. La emulsión está causada en parte por la formación de monoglicéridos y diglicéridos intermedios, que contienen tanto grupos hidróxidos polares como cadenas de hidrocarburos no polares.

Meng et al (2008) llevó a cabo una transesterificación de aceite usado de cocina con metanol en presencia de hidróxido de sodio, donde la relación molar de 6:1 obtuvo los más altos rendimientos (89% de conversión). **Yuan et al (2008)** hizo el pretratamiento inicial, y estimó en este caso que la relación óptima es de 6.5:1 de metanol a aceite.

Similarmente, la transesterificación de aceite usado de cocina con catálisis alcalina (hidróxido de sodio), usando Metóxido de sodio (bajo condiciones óptimas de concentración de catalizador y tiempo de reacción), fue estudiada por Leung y Guo en 2006, para determinar la dependencia del rendimiento de ésteres producidos de la relación molar alcohol aceite.

IMAGEN 2.3. Porcentaje en peso de aceite y biodiésel generado en función a la relación molar de metanol aceite.



Fuente: *Leung and Guo, transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiésel production*

Se observa que para el caso del aceite usado de cocina, se requiere aumentar un poco la relación molar metanol aceite a 7:1, a fin de aumentar los rendimientos de conversión de alquilésteres. Durante la catálisis ácida se requiere una relación alcohol aceite mucho mayor, que durante la catálisis básica, para obtener rendimientos similares.

5. Temperatura y presión

La velocidad de la transesterificación está fuertemente influenciada por la temperatura de reacción. Sin embargo, la reacción puede llevarse a cabo dentro de un amplio rango de temperaturas, si el tiempo es suficiente. *Cvengros et al* transesterificó

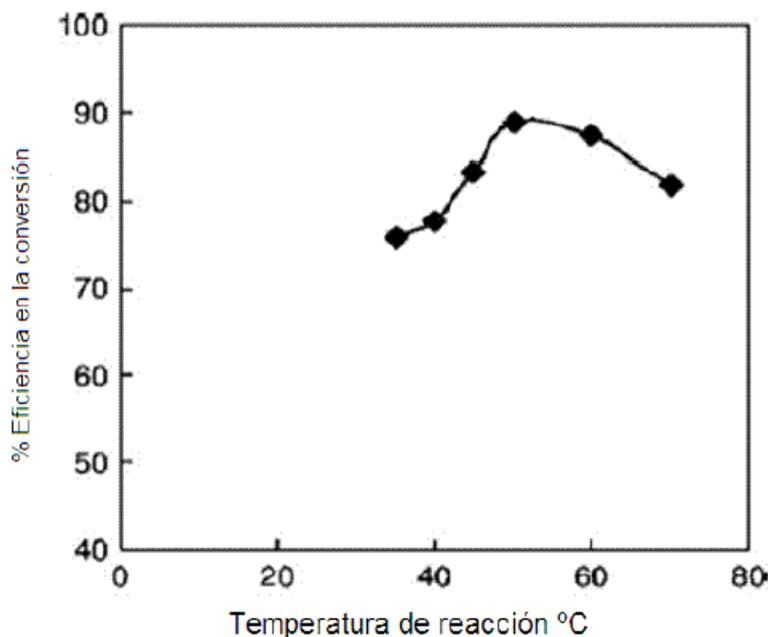
aceite usado de cocina a presión atmosférica, con metanol a temperatura cercana a su punto de ebullición, 65°C.

Zhang et al (2003) logró llevar a cabo transesterificación de aceite usado de cocina usando metanol a 60°C bajo presión de 400 Kpa. Srivastava y Prasad⁶⁹ (2000) mencionaron que el máximo rendimiento de ésteres ocurre a temperaturas entre 60 y 80°C, en relación molar de alcohol aceite 6:1. Sin embargo, bajo estas condiciones de operación, los ácidos grasos, deben ser removidos en un pretratamiento.

Hui et al (1996) sugirió que no siempre se requiere pretratamiento ya que si se realiza el proceso a 9000 Kpa, tanto esterificación como transesterificación tienen lugar de manera simultánea.

Al **Widyan et al (2002)** transesterificó residuos de aceite de palma vía ácida con etanol, y encontró que la temperatura óptima fue de 90°C. Por su parte, **Meng et al**, en la transesterificación de aceite usado de cocina vía alcalina con metanol, obtuvo temperatura óptima de 50°C.

IMAGEN 2.4. Eficiencia en la conversión en función de la temperatura de reacción para la generación de biodiésel



Fuente: MENG, Xiangmei, Guanyi Chen, Yonghong Wang; *biodiésel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test*

Similares resultados encuentra **Leung y Guo (2006)**, cuando transesterifica aceite usado de cocina con metanol, al 1% de catalizador hidróxido de sodio, pero variando la relación molar de 6:1 a una relación 7:1. En este nuevo caso, la temperatura de máximo rendimiento pasó a ser 60 °C. **Pinzi S. et al (2010)** concluye que la temperatura óptima de reacción de triglicéridos depende de la longitud de la cadena y del grado de insaturaciones presentes en los ácidos grasos del triglicérido, por lo tanto, para cada tipo de aceite es posible encontrar variaciones en la temperatura ideal de reacción.

Se puede concluir de manera general, que la temperatura es un factor que afecta el rendimiento en la conversión de triglicéridos a alquilésteres. Es posible obtener rendimientos

superiores al 80% en la conversión, con cualquier temperatura por encima de la ambiental, afectándose el factor tiempo para alcanzar dichos rendimientos.

2.2.6 IMPACTO AMBIENTAL

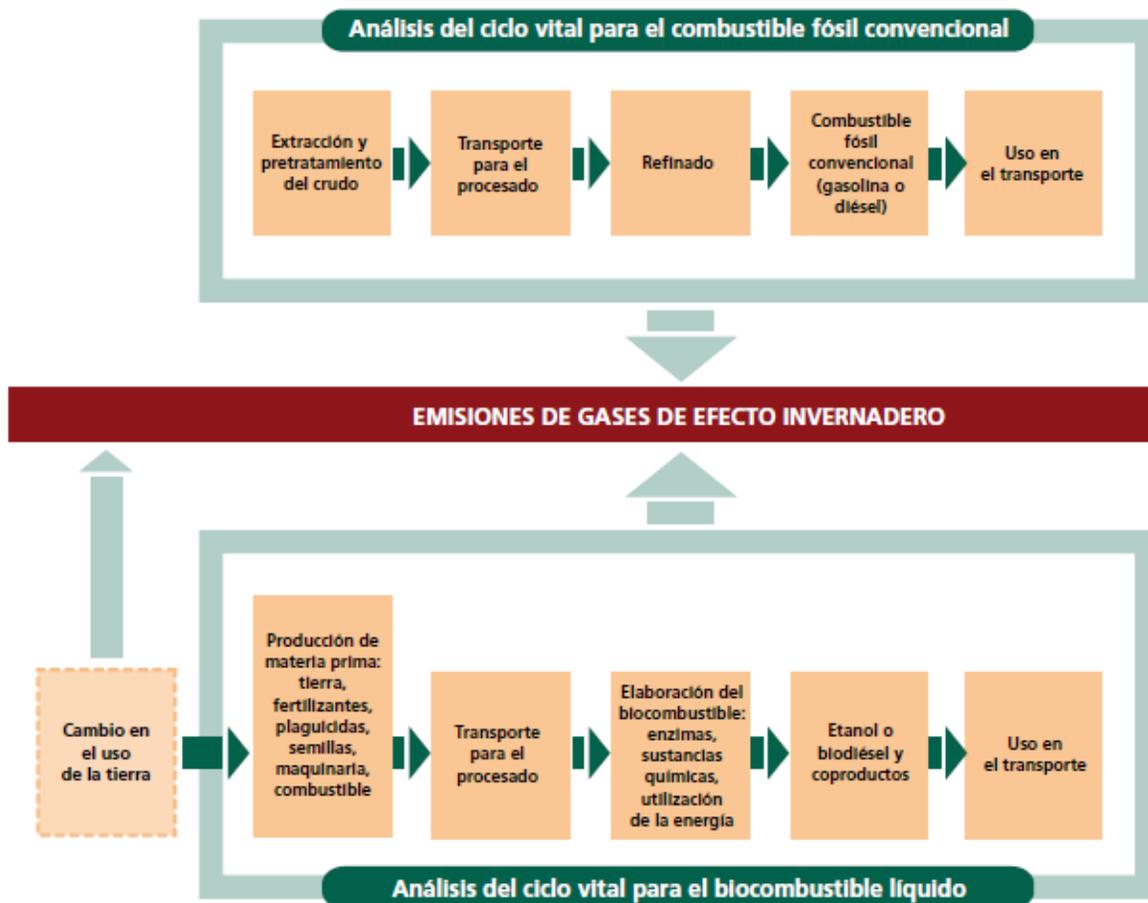
A. Efectos de los biocombustibles en el medio ambiente

A pesar de que la producción de biocombustibles sigue siendo reducida en el contexto de la demanda total de energía, sí resulta significativa en lo que respecta a los niveles actuales de producción agrícola.

Según **Emilio Ros (2010)**, recomienda que deben reconocerse las posibles implicaciones medioambientales y sociales de su continuo crecimiento. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es, por ejemplo, uno de los objetivos explícitos de algunas medidas reglamentarias de apoyo a la producción de biocombustibles. La producción agrícola provoca en general ciertos efectos negativos inesperados en la tierra, el agua y la biodiversidad que resultan especialmente preocupantes en relación con los biocombustibles. La magnitud de estos efectos depende de la manera en que se producen y se procesan las materias primas para biocombustibles, de la escala de la producción y, especialmente, del modo en que influyen en el cambio del uso de la tierra la intensificación y el comercio internacional.

CUADRO 2.21 Análisis del ciclo vital para los balances de gases de efecto

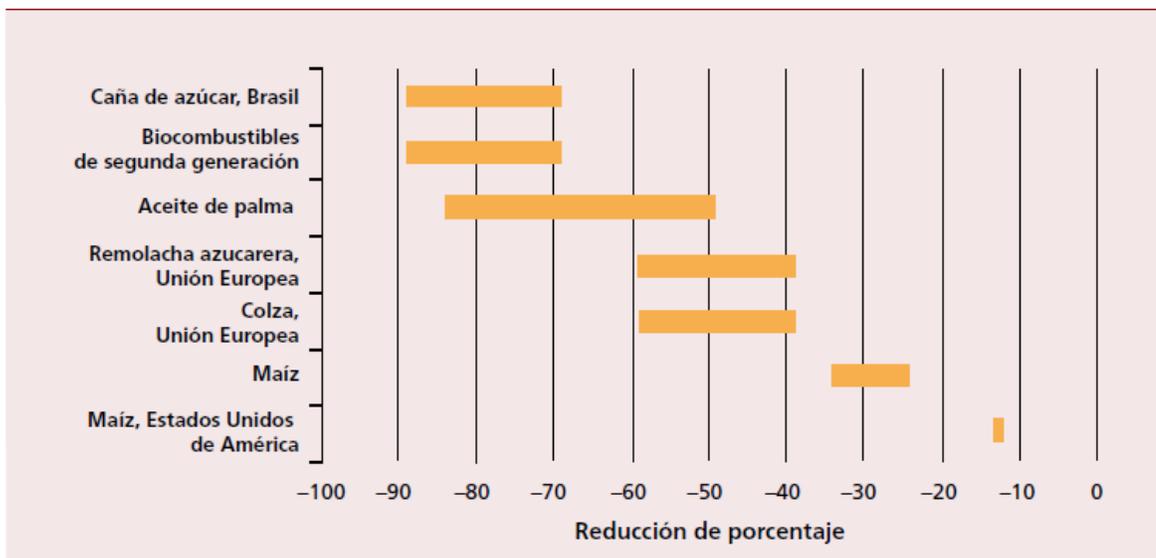
invernadero



Fuente: *FAO.*

Los estudios de **Emilio Ros (2010)** han mostrado que las diferencias más marcadas en los resultados son debidas a los métodos de asignación elegidos para los productos complementarios, los supuestos sobre las emisiones de óxido nítrico y los cambios de las emisiones del carbono derivados del uso de la tierra. En la actualidad, se emplean diversos métodos para realizar análisis del ciclo vital y, como se indicó anteriormente, algunos de ellos no consideran el complejo tema del cambio del uso de la tierra.

IMAGEN 2.5. Reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero de determinados biocombustibles en comparación con los combustibles fósiles



Fuente: AIE 2006 y FAO 2008d.

B. Niveles de contaminación en disminución por uso de biocombustibles

Las cifras que veremos a continuación muestran el grado en que los biocombustibles benefician el medio ambiente, además de las otras ventajas mencionadas anteriormente. Es importante mencionar que el Sr. Al Gore, quien recibió el Premio Nobel de la Paz (2007) por sus esfuerzos dirigidos a evitar el calentamiento global, clausuró el Congreso Americano de Biocombustibles, hecho que demuestra la importancia que estos tienen en el contexto de la ecología mundial.

Los vehículos que funcionan con biodiésel reducen las emisiones de bióxido de carbono hasta en un 78% y disminuyen los hidrocarburos cancerígenos hasta en un 75%.

CUADRO 2.22. Reducciones o incrementos de emisiones en vehículos que operan con biodiésel

Tipo de emisiones	B100	B20	B2
Hidrocarburos no quemados	-67%	-20%	-2,20%
Monóxido de carbono	-48%	-12%	-1,30%
Material particulado	-47%	-12%	-1,30%
Óxidos de nitrógeno	+10%	+2%	+2%

Fuente: *California Environmental Protection Agency - National Biodiésel*

Conference, San Diego, Estados Unidos, 2006.

El gobierno de C

anáda afirma que si solo el 35% de la gasolina de ese país tuviera 10% de etanol (E10) se lograría una reducción de 1,8 millones de toneladas de GHG (gases de efecto invernadero), lo que equivale a remover 400 000 vehículos de las vías.

Se calcula que el uso de una mezcla de E10 (10% de etanol y 90% de gasolina) sería suficiente para reducir entre el 12% al 19% los gases de efecto invernadero, el 30% de las emisiones de CO₂ y el 50% de las emisiones de partículas finas que causan problemas respiratorios y de las emisiones de sustancias orgánicas volátiles que producen el smog.

2.3 Definición de términos básicos

A. Biodiésel

Se llama biodiésel a un combustible alternativo renovable de origen vegetal, derivado de aceites vegetales y/o animales, cuyas características físico-químicas se asemejan al gas-oil. Es biodegradable y no tóxico, no contiene azufre y compuestos aromáticos, es compatible con el combustible diésel, y posee algunas características distintas debido a su origen oleoso (*Ma & Hanna, 1999*).

B. Combustible

Un combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando su estructura física o química es cambiada o transformada. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable. El combustible se combina con el oxígeno de manera rápida, y en el transcurso de la reacción se liberan grandes cantidades de calor y gases. Muchos de estos gases pertenecen a los llamados gases de efecto invernadero, mientras que otros son muy tóxicos, dependiendo esto del combustible de partida.

Los combustibles pueden ser divididos en fósiles o biocombustibles. Los primeros también llamados combustibles minerales, son mezclas de compuestos orgánicos que se extraen del subsuelo con el objetivo de producir energía por combustión; ejemplo de estos combustibles son el carbón, el petróleo y el gas natural. Su uso no es compatible con el medio ambiente, pues genera grandes cantidades de dióxido de carbono (el principal responsable del efecto invernadero), dióxido de azufre, óxidos de nitrógenos (responsables de las lluvias ácidas), y compuestos altamente tóxicos como son los compuestos orgánicos volátiles (causantes de muchas afecciones respiratorias).

C. Biocombustible

Se llama biocombustibles a todo tipo de combustible proveniente de la biomasa; por ejemplo, aceite, biodiésel, etanol (bioetanol), leña (hidratos de carbono), etc. Disminuyen las emisiones de dióxido de carbono y azufre a la atmósfera, no liberan compuestos aromáticos y resultan biodegradables.

D. Reacción de transesterificación

Desde el punto de vista químico, se va a hacer una reacción química, se van a mezclar reactivos y al cabo de un tiempo se obtendrán productos, en nuestro caso un combustible. A esta

se la denomina “reacción de transesterificación” de un aceite vegetal. Los reactivos de partida van a ser aceite vegetal o grasa animal, alcohol metílico y soda cáustica.

E. Aceites vegetales y aceites animales

Los aceites vegetales así como las grasas animales son, desde el punto de vista químico, triglicéridos; la diferencia en su nombre se debe a su estado físico, pues aquellos triglicéridos que son sólidos a temperatura ambiente son las llamadas grasas, y los que se muestran líquidos se llaman aceites. No hay que confundir a estos aceites con los aceites minerales utilizados para lubricación, que son derivados del petróleo, por lo tanto, no están constituidos por triglicéridos sino por mezclas de hidrocarburos.

F. Metanol

El alcohol que se utiliza para la preparación es el alcohol metílico, conocido también como “alcohol de quemar” o metanol. Este es diferente desde el punto de vista físico-químico al alcohol etílico o etanol, que es el de las bebidas alcohólicas, resultando el metanol un potente veneno.

G. Hidróxido de sodio

Sosa cáustica o soda cáustica. Pertenece a la familia de las bases. A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. Punto de fusión 323 oC, Punto de ebullición 1390 oC. Densidad = 2.1 g/cm³. Ingestión: Puede causar daños graves y permanentes al sistema gastrointestinal. Inhalación: Irritación con pequeñas exposiciones, puede ser dañino o mortal en altas dosis.

Piel: Peligroso. Los síntomas van desde irritaciones leves hasta úlceras graves.

Ojos: Peligroso. Puede causar quemaduras, daños a la córnea.

H. Método alcalino

Una vez presentados los reactivos de la reacción, hay que tener en cuenta que existen más de una forma de obtener el biodiésel (*Meher et. al, 2006*), siendo la más fácil de todas la que se hace en un solo paso, y es el llamado método alcalino de una sola etapa.

I. Metanol

Alcohol metílico, metanol o alcohol de quemar. Pertenece a la familia de los alcoholes cuya fórmula es CH₃OH. Estado de agregación líquido. Punto de ebullición 64,7°C. Densidad = 0.7918 g/cm³. Apariencia incolora. Punto de inflamabilidad = 12°C. Temperatura de autoignición = 385°C. Es un líquido ligero, incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. A concentraciones elevadas el metanol puede causar dolor de cabeza, mareo, náusea, vómitos y muerte (en el peor de los casos). Una exposición aguda puede causar ceguera o pérdida de la visión, ya que puede dañar seriamente el nervio óptico. Una exposición crónica puede ser causa de daños al hígado o de cirrosis. La dosis letal de metanol para los humanos varía entre 0,3 gramos y 1 gramo por kilogramo de masa corpórea. Ingestión: puede producir ceguera y sordera. Inhalación: Por evaporación de esta sustancia a 20 oC, puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva en el aire. Piel: Puede producir dermatitis. Ojos: Irritación.

J. Etanol

Alcohol etílico, o el alcohol de las bebidas. Este alcohol también puede ser utilizado para la obtención del biocombustible, y no es tan tóxico como el metanol, pero el inconveniente que presenta es su contenido en agua (recordemos que el agua no debe estar presente en la obtención del biodiésel), alrededor de un 4 %, comercialmente se lo vende como alcohol al 96°, lo que está

indicando un 4% de agua, la eliminación de ese porcentaje de agua, encarecería mucho el precio del alcohol.

K. Metóxido de sodio

Al disolver la soda cáustica en el alcohol se forma metóxido de sodio, el cual se debe tratar con extremo cuidado. No respirar sus vapores. Si se cae sobre la piel produce una quemadura que muchas veces no se nota porque va matando los nervios. Hay que lavar zona con muchísima agua. Cuando se manipula metóxido de sodio se debe tener siempre cerca agua corriente.

L. Glicerina

Es un alcohol cuya molécula es $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$. Estado de agregación líquido. Punto de fusión 18°C . Punto de ebullición 290°C . Densidad = 1.261 g/cm^3 . Apariencia incolora. Punto de inflamabilidad = 160°C . Temperatura de autoignición = 350°C . La glicerina es soluble en agua y en alcohol, pero no en aceite, ni éter ni en muchos solventes orgánicos. Muchos productos se disuelven en glicerina, por lo que es un buen disolvente. La glicerina es altamente hidrocópica, por lo que absorbe el agua del aire y se convertirá con el tiempo, en un 80% de glicerina y un 20% de agua. La acción suavizante de los jabones de glicerina se debe a que atrae humedad hacia la piel. La grasa animal como las vegetales contiene de un 7% a un 13% de glicerina. Los jabones de glicerina contienen entre un 15% a un 20% de glicerina pura. Conocida como jabón de glicerina moldeable. La glicerina líquida es resistente a la cristalización, pero puede cristalizar a baja temperatura.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Hipótesis

Es probable que el diseño de la planta de producción del biodiésel a partir de la emisión de aceites vegetales residuales de uso doméstico, logremos reducir costos en la producción de biodiésel y a su vez pueda disminuir la contaminación del agua por aceite en la ciudad de Arequipa.

3.2 Identificación y clasificación de las variables

3.2.1 Variable independiente

Diseño de la planta de biodiésel

3.2.2 Variable dependiente

Reducción de costos y contaminación

3.3 Operacionalización de las variables

CUADRO 3.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	INDICADOR	SUBINDICADORES
Diseño de la planta de Biodiésel	Materia prima	Disponibilidad Área de producción Destino de la producción
	Tamaño	Tamaño – tecnología Tamaño – inversión Tamaño – producción
	Localización	Macrolocalización Microlocalización
	Mercado	Demanda Oferta Precio
	Evaluación ambiental	Cantidad de residuos generados (sólidos, líquidos, gaseosos). Características químicas de los residuos.
	Presupuesto	Ingresos Egresos Punto de equilibrio

Reducción de costos y contaminación		Estados financieros
	Ingeniería	Análisis del proceso productivo Diseño de prototipo Control de calidad Determinación del equipamiento de la planta Consumo de energía Requerimiento de agua Requerimiento de vapor Requerimiento de equipos Tolerancias Determinación de tiempos Determinación de máquinas Balance de líneas Capacidad instalada Distribución de planta Características físico químicas del producto terminado Impacto ambiental
	Inversiones	Inversiones tangibles Inversiones intangibles Capital de trabajo

Fuente: *Elaboración propia*

3.4 Tipo y nivel de la investigación

3.4.1 Tipo de investigación

Por su finalidad: se trata de una investigación de campo aplicada.

Por la fuente de datos: se trata de una investigación documental y de campo.

3.4.2 Nivel de investigación

El nivel del estudio es Descriptivo, explicativo y predictivo a través de diversos datos obtenidos y su sustentación.

3.5 Método y diseño de la investigación

3.5.1 Método de la investigación

Método científico en el cual se analizaron los datos obtenidos, los cuales servirán como base de datos primarios para el desarrollo de la investigación.

3.5.2 Diseño de la investigación

El estudio de investigación es analítico – no experimental, asociando las variables de estudio mediante la revisión documentaria, obteniendo la proyección del procedimiento de producción de biodiésel a base de aceites vegetales residuales caseros.

3.5.3 Unidad de estudio

La unidad de estudio lo constituyen las viviendas ubicadas en el distrito de Paucarpatá – Arequipa. La población en el distrito de Paucarpatá es de 120 446 personas.

3.5.4 Población

La población referencial de estudio se refiere al número de viviendas que existe en el distrito de Paucarpata, pues por vivienda se genera los aceites domésticos, por lo que considerando un aproximado de 4 personas por vivienda tendríamos $120\ 446/4$ lo cual es de 30 111 viviendas (INEI, 2015).

3.5.5 Muestra

Con la aplicación de la fórmula para población finita, se calcula una muestra representativa.

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N-1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

$$n = \frac{30\ 111 \times 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2 \times (30\ 111 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

$$\mathbf{n = 378}$$

N = tamaño de la población (30 111), Z = nivel de confianza para 0.05 en la distribución de Gauss equivale a 1.96, P = probabilidad de éxito, o proporción esperada (0.5), Q = probabilidad de fracaso (0.5), D = precisión (error máximo admisible en términos de proporción) 0.05.

3.6 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. Técnicas

Las técnicas de colecta de datos fueron la Encuesta y la revisión documentaria.

3.6.2. Instrumentos

Los instrumentos para el desarrollo de la investigación fueron la guía de entrevista estructurada y el registro de datos.

3.6.3. Fuentes

La fuente de colecta de datos es primaria, ya que se obtuvo la información de las propias viviendas del distrito de Paucarpata – Arequipa.

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos recolectados

3.7.1. Técnicas de procesamientos de datos

Los datos colectados fueron procesados en hojas de cálculo Excel.

3.7.2. Proceso de análisis de datos recolectados

El proceso de análisis se realizó en el programa Excel.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Generalidades

En este capítulo mencionaremos el procedimiento para el desarrollo de la investigación, desde la elaboración del biodiésel en sí y las pruebas según norma técnica peruana aplicadas al biodiésel preparado para su control de calidad, para poder demostrar que la producción de biodiésel es un procedimiento que puede contrarrestar la contaminación del agua a causa de aceites vegetales residuales.

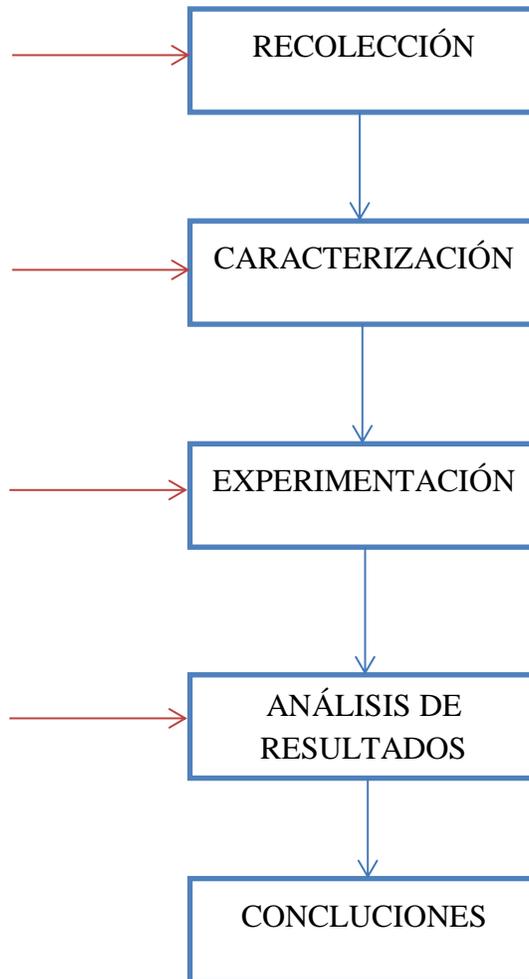
CUADRO 4.1. Estrategia operacional de la investigación

Se recolecta el aceite usado doméstico para poder desarrollar la prueba de conversión a biodiésel; considerando los materiales, insumos requeridos para la producción.

Estudio previo de la materia prima a emplear para la elaboración de biodiésel.

Comprende no solo la elaboración del biodiésel sino mediante normas técnicas demostrar que el biodiésel cumple con la calidad correspondiente.

Estudiaremos los resultados obtenidos para poder concluir satisfactoriamente con la experiencia.



Fuente: *Elaboración propia*

4.2 MATERIA PRIMA

La materia prima es el aceite vegetal ya usado en la preparación de alimentos en los hogares, especialmente el que queda luego de etapas de fritura que es considerado como residuo doméstico, este fue recolectado por la zona donde se propone la ubicación de la pequeña planta piloto para la producción de biodiésel.

4.2.1 DISPONIBILIDAD DE LA MATERIA PRIMA

Se hace un estudio de disposición de aceite residuo en la zona, haciendo un total de 20 manzanas alrededor del punto céntrico donde estaría ubicada la planta de biodiésel.

IMAGEN 4.1. Ubicación de la planta piloto de biodiésel y zona de recolección de aceites domésticos



Círculo rojo: Ubicación de la planta piloto de producción de biodiésel.

Círculo amarillo: Perímetro de recolección del aceite doméstico.

Ubicación: Urb. Manuel Prado-Calle Fátima 122 PAUCARPATA.

Fuente: Google Earth

A. Criterio

- Partiendo del punto central donde estaría ubicada la pequeña planta piloto, se evalúa una distancia la cual pueda recorrerse caminando sin

que represente mayor esfuerzo y tiempo para la recolección siendo un total aproximado de 3 cuabras la distancia máxima.

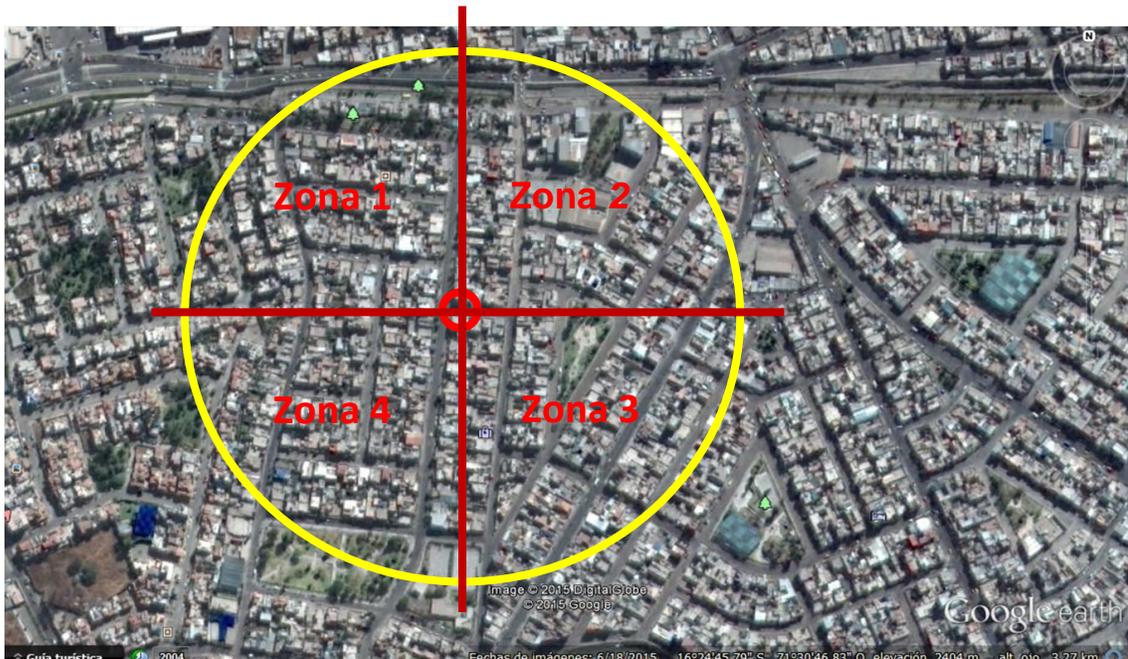
Tiempo de recolección por manzana: 1h

Tiempo total por las 5 manzanas: 5h

Por último, se lleva a almacenar. Haciendo un total de un día de trabajo.

- Se considera este perímetro por la cercanía, no siendo necesario el uso de algún vehículo para llegar a cada casa, pues consumiría combustible de más.
- Se considerara la recolección por cuadrantes, destinando un día a la semana para cada cuadrante, *ver Imagen 4.2.*

IMAGEN 4.2. Cuadrantes de la zona de acopio



Fuente: *Google Earth*

- Con respecto al volumen, es posible transportar sin muchos problemas ya que se contará con un carrito recolector. *Ver figura 4.3.* El volumen tendrá un máximo de 100 litros.
- Se recolectara personalmente el aceite de cada casa teniendo un contacto directo con los responsables de casa para juntar el aceite.

IMAGEN 4.3. Modelo de carrito recolector de aceite



Fuente: *Elaboración propia*

B. Análisis de datos

Para verificar la *disponibilidad de la materia prima*, se aplicó una encuesta dirigida a las amas de casa de cada una de las viviendas ubicadas en los sectores ya indicados de los distritos de *José Luis Bustamante y Rivero* y *Paucarpata* – Arequipa (**Ver Anexo 1**).

Se procedió a realizar el análisis de datos correspondientes:

CUADRO 4.2. Interés por temas referidos al cuidado del medio ambiente

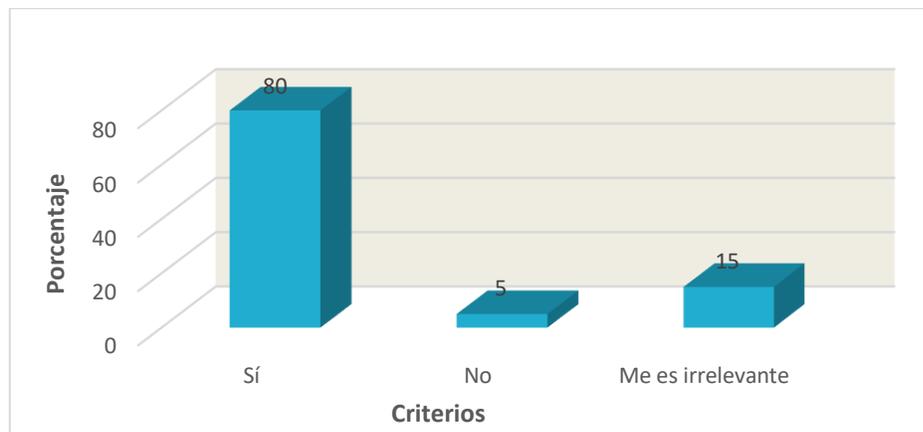
CRITERIOS	F	%
Sí	302	80
No	19	5
Me es irrelevante	57	15
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: De las 378 personas entrevistadas, 302 afirman que tienen interés en temas referidos al cuidado del Medio Ambiente, lo que representa el 80% del total de entrevistados.

Interpretación: Se ha comprobado entonces que de la población escogida para la presente investigación, un 80% considera que el medio donde vivimos debe ser protegido, por lo que también se comprueba la eminente contaminación que existe hoy en día en nuestro entorno. Por lo que es un indicio de la futura aceptación del presente proyecto.

GRÁFICO 4.1. INTERÉS POR TEMAS REFERIDOS AL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.3. Uso de aceites

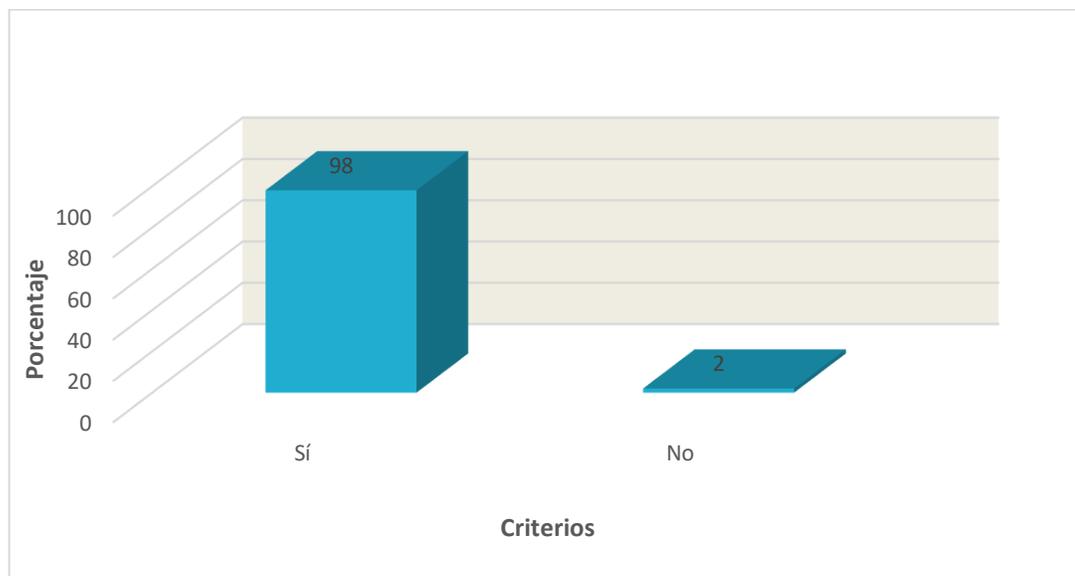
CRITERIOS	f	%
Sí	370	98
No	8	2
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: Que el 98% de los encuestados manifiestan que hacen uso de aceite vegetal para la elaboración de sus alimentos; 2% no lo consume en su dieta diaria.

Interpretación: Se ha comprobado que según la dieta diaria de los ciudadanos de José Luis Bustamante y Rivero y Paucarpata, 378 familias usan aceite vegetal en la preparación de sus alimentos.

GRÁFICO 4.2. USO DEL ACEITE VEGETAL



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.4. Cantidad mensual de uso de aceite vegetal

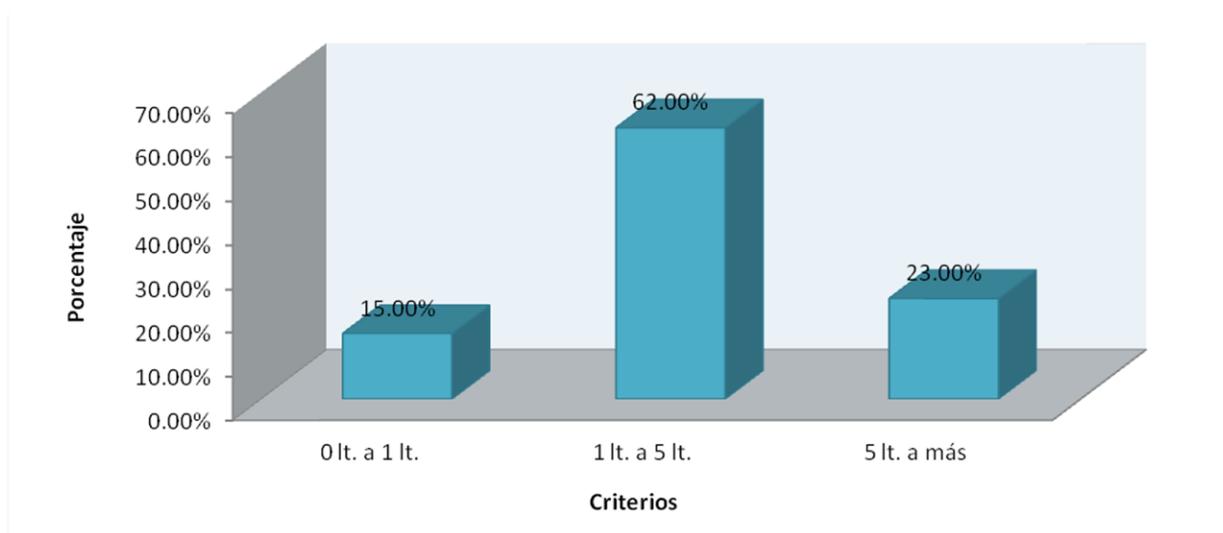
CRITERIOS	f	%
0 litros a		
1 litros	57	15
1 litros a 5		
litros	234	62
5 litros a		
más	87	23
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de Preguntas (2015).*

Descripción: El 15% de los encuestados indican que de forma mensual consumen de 0 litros a 1 litros, el 6% consumen de 1 litros a 5 litros y el 23% consumen de 5 litros a más.

Interpretación: Se ha comprobado que el 100% de las personas encuestadas consumen aceite vegetal, a pesar de indicar con anterioridad que no consumen aceites un 2%, ello se debe a que nuestra población hace diferencia entre aceite vegetal y animal, demostrando que todos consumen en sus alimentos aceite vegetal.

GRÁFICO 4.3 CANTIDAD MENSUAL DEL USO DEL ACEITE VEGETAL



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.5. Generación de residuos de aceite vegetal

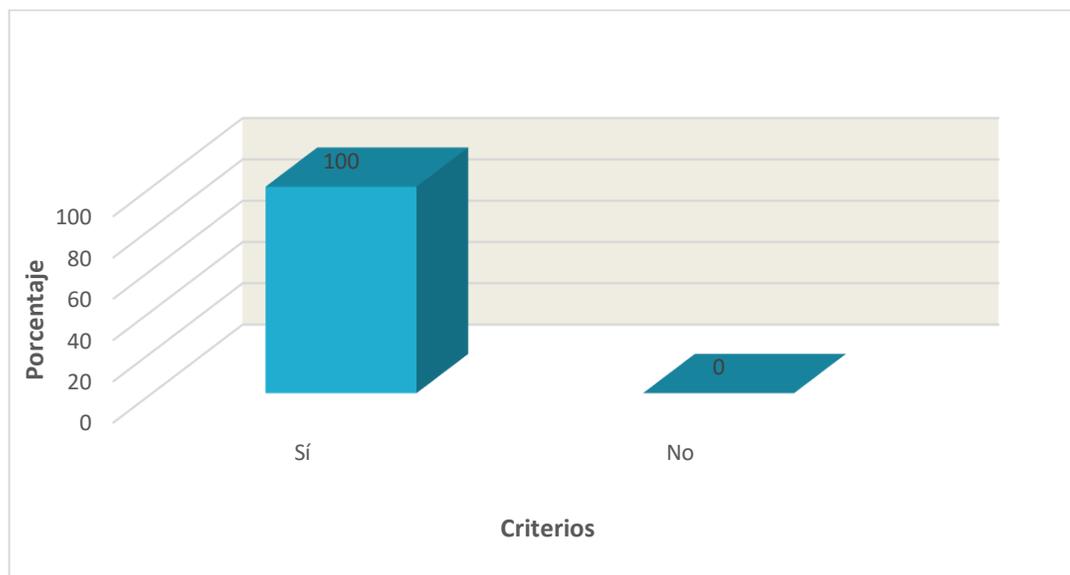
CRITERIOS	f	%
Sí	378	100
No	0	0
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: De los 378 entrevistados el 100% indica que genera residuos de aceite vegetal después de cocinar (freír).

Interpretación: Se ha comprobado entonces que todos los encuestados generan residuos de aceite vegetal, quedando demostrado que sí existe la materia prima necesaria para la realización del proyecto, después se verificará si es accesible o no.

GRÁFICO 4.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS DE ACEITE VEGETAL



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.6. Uso del Aceite Vegetal Residual Doméstico

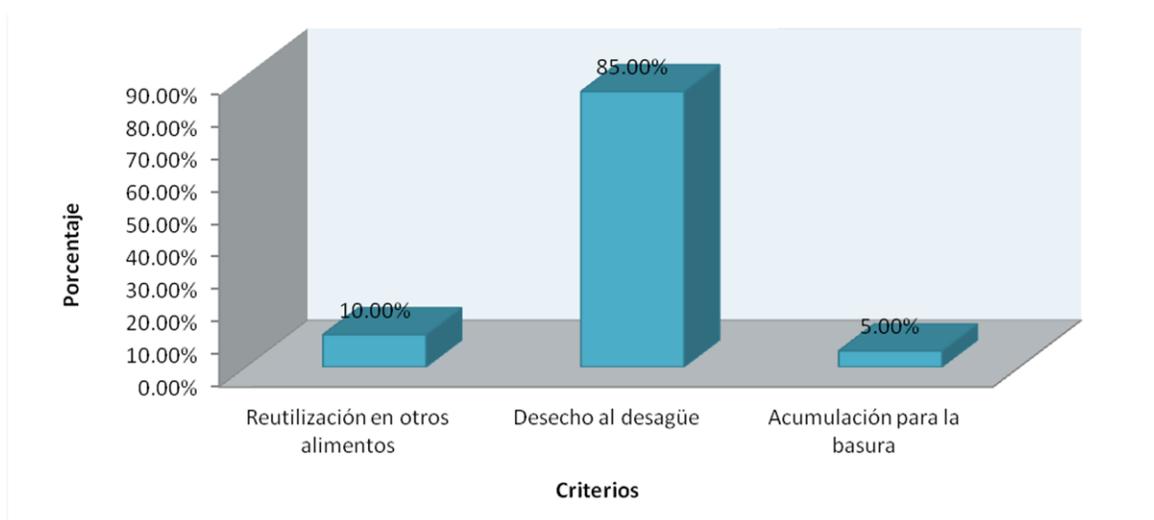
CRITERIOS	f	%
Reutilización en otros alimentos	38	10
Desecho al desagüe	321	85
Acumulación para la basura	19	5
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: De los 378 entrevistados, 321 afirman que sus residuos de aceite vegetal son vertidos a las vías de desagüe de la ciudad y solo 19 juntan sus residuos para luego botarlos a la basura.

Interpretación: Se ha comprobado entonces que 85% de las personas encuestadas aportan a la contaminación del agua por verter sus residuos de aceite vegetal al desagüe, este considera ser un indicio de desconocimiento del daño ambiental que están generando.

GRÁFICO 4.5. USO DEL ACEITE VEGETAL RESIDUAL DOMÉSTICO



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.7. Conocimiento de aceite residual como contaminante”

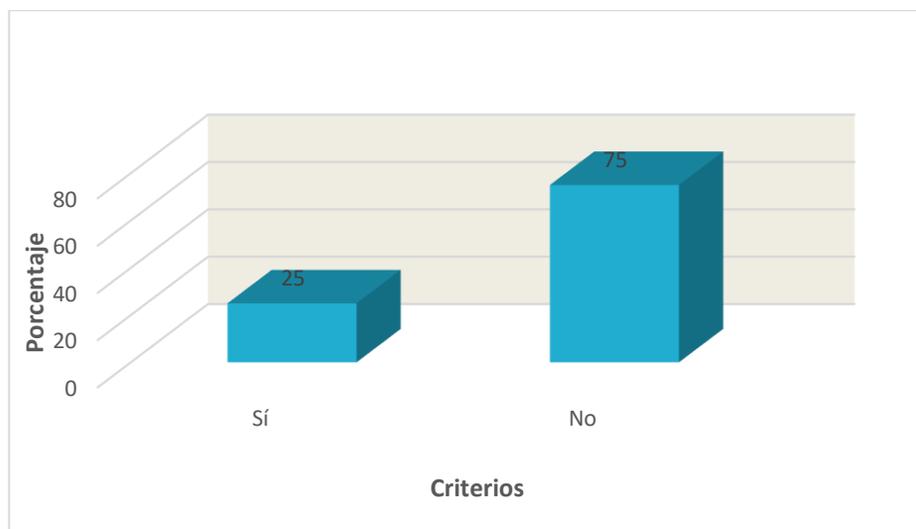
CRITERIO	f	%
Sí	94	25
No	284	75
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: El 75% de los ciudadanos que han sido encuestados indican no tener conocimiento del factor contaminante que es el aceite vegetal residual doméstico, el otro 25% precisa conocer el daño ambiental ocasionado.

Interpretación: Se ha comprobado entonces que más del 50% de los encuestados desconoce el impacto ambiental que ocasionan los residuos de aceite vegetal; sin embargo, al contestar la presente encuesta se dan enterados del mismo creando de esta forma concientización ambiental.

GRÁFICO 4.6. CONOCIMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL COMO CONTAMINANTE



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.8. Conocimiento de programas de gestión de residuos domésticos

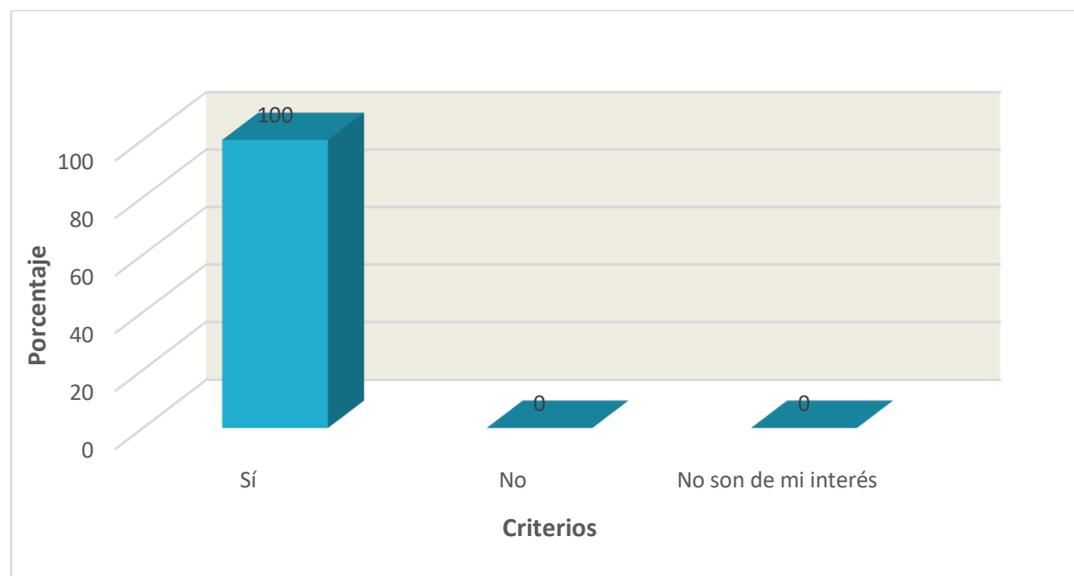
CRITERIO	F	%
Sí	378	100
No	0	0
No son de mi interés	0	0
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de Preguntas (2015).*

Descripción: El 100% de las personas encuestadas indican que tienen conocimiento de los diversos programas de gestión de residuos domésticos.

Interpretación: De esta forma queda claro que toda la población escogida tiene conocimiento de los diferentes programas de gestión de residuos domésticos demostrando que se muestran interesados en la preservación del medio ambiente.

GRÁFICO 4.7. CONOCIMIENTO DE PROGRAMAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.9. Programas de gestión de residuos domésticos

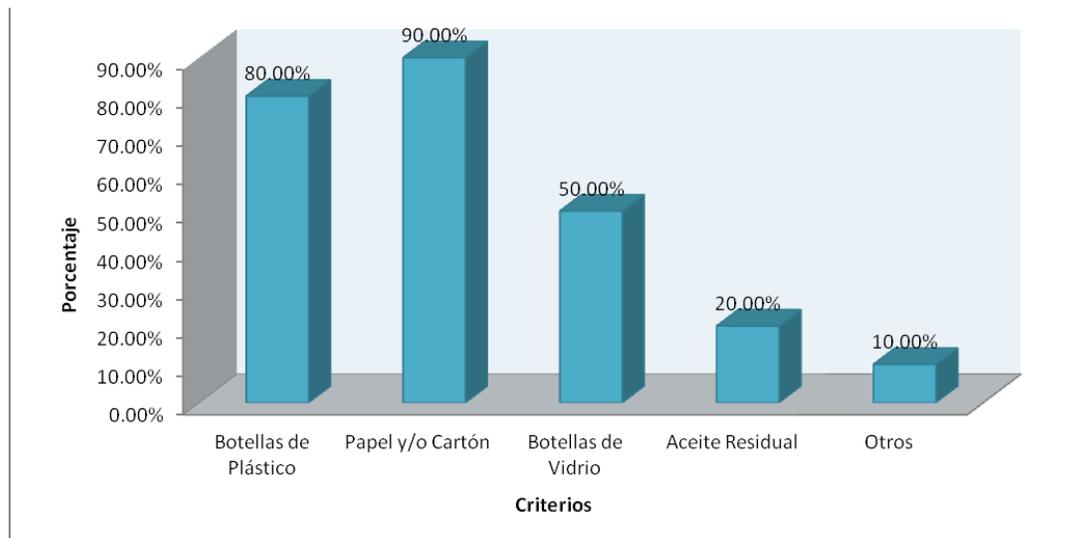
CRITERIOS	F	%
Botellas de plástico	302.4	80
Papel y/o cartón	340	90
Botellas de vidrio	189	50
Aceite residual	76	20
Otros	38	10
Total		

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: Se demuestra que el conocimiento de la población, acerca de los programas de gestión de residuos domésticos, es pleno ya que todos manifiestan conocer algún tipo de programa, siendo la más conocida el reciclaje de papel y/o cartón.

Interpretación: Se ha comprobado que de todos los programas de gestión de residuos domésticos, el más conocido a un 90% es el reciclaje de papel y/o cartón y el porcentaje equivalente al aceite residual es de 20%.

GRÁFICO 4.8. PROGRAMAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DOMÉSTICOS



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.10. Participación en programas de control de aceite residual doméstico

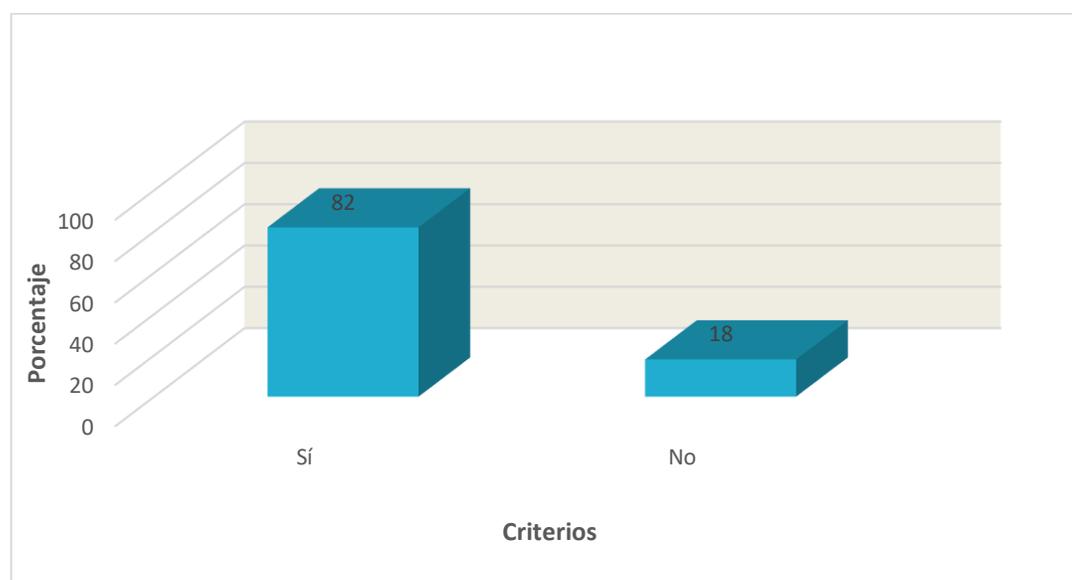
CRITERIOS	F	%
Sí	310	82
No	68	18
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: Se puede apreciar que el 82% de los encuestados sí muestran interés en la participación en programas de control de aceite residual, mientras que el 18% no muestra absoluto interés.

Interpretación: Se ha comprobado que un 82% de la población participaría en un programa de control de aceite residual doméstico, comprobándose que la realización del presente proyecto será positivo en los sectores antes señalados.

GRÁFICO 4.9. PARTICIPACIÓN EN PROGRAMAS DE CONTROL DE ACEITE RESIDUAL DOMÉSTICO



Fuente: *Elaboración propia*

CUADRO 4.11. Disposición de residuos de aceite vegetal doméstico

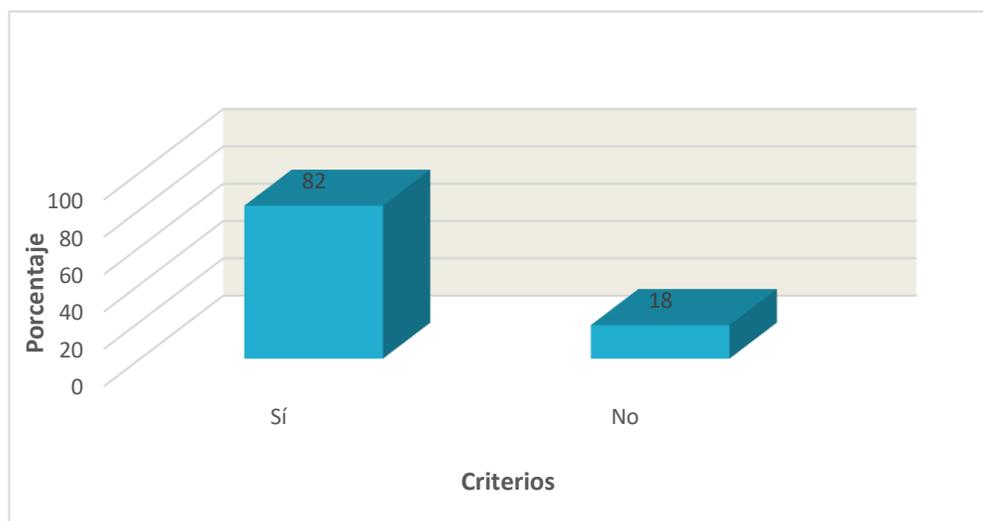
CRITERIO	F	%
Sí	310	82
No	68	18
Total	378	100%

Fuente: *Cuestionario de preguntas (2015).*

Descripción: Un total de 310 encuestados muestran completa disposición para guardar sus residuos de aceite vegetal doméstico, solo unas 68 personas no muestran interés en el proyecto.

Interpretación: Se ha comprobado que sí existe la materia prima necesaria para poder desarrollar el presente proyecto.

GRÁFICO 4.10. DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE ACEITE VEGETAL DOMÉSTICO



Fuente: *Elaboración propia*

4.2.2 Área de producción

Se verifica el número total de casas que hay por manzana.

TABLA 4.1. Número de casas por manzana

Número de manzana	Número de casas
1	25
2	30
3	20
4	28
5	32
6	15
7	25
8	10
9	25
10	18
11	25
12	27
13	13
14	30
15	28
16	25
17	27
18	28

19	31
20	18
PROMEDIO DE CASAS	24

Identificamos 24 casas en promedio por manzana. Al momento de visitar 3 manzanas aproximadamente, dos de diez casas no desean participar en el reciclaje del aceite, siendo un 20% que no debemos considerar.

Luego, aproximadamente a cada casa, se les recomienda guardar el aceite usado en un envase como se muestra en la **figura 4.4** para que al momento de la recolección lo puedan entregar.

IMAGEN 4.4. Envase de 4 litros para la recolección del aceite



Fuente: *Elaboración propia*

A un mes de indicarles a los vecinos de cómo guardar el aceite, se logra observar que en cada casa logran juntar un promedio de 450ml de aceite usado.

Entonces del total de casas de la zona delimitada se obtendría 216 litros de aceite y descontando el 20% de los que no participan, recolectaríamos 200.8 litros que semanalmente en promedio se recolectara 50.2 litros de aceite usado, los cuales serán procesados semanalmente para la generación del biodiésel.

En definitiva, el producto de biodiésel depende específicamente de la materia prima disponible, para el caso muestra es de 50.2 litros de aceite.

4.2.3 Destino de la producción

El producto final que aproximadamente se produce de los 50.2 litros de aceite es 40.16 litros lo que hace un total de 10.16 galones, los cuales tienen como fin personas naturales agricultores las cuales usan el biodiésel para encender generadores de energía eléctrica. Los cuales aproximadamente usan 5 galones por semana.

4.3 Tamaño

Para evaluar el tamaño de la planta piloto, se debe considerar varios factores como el área disponible en la ubicación de la planta, además, de la cantidad de aceite que se puede recolectar sin mucho esfuerzo y con el mínimo en gasto. Entre otros factores tenemos el tamaño de la tecnología, la inversión (costos de maquinaria) y la producción.

4.3.1 Tamaño de la tecnología

La tecnología aplicada será a nivel intermedio utilizando equipos nacionales o que puedan ser fabricados en algún taller de la misma ciudad; de todos modos, en el siguiente punto se verán

los costos comparativos con respecto a otras industrias que venden equipos para la producción de biodiésel.

TABLA 4.2. Equipamiento para la planta de biodiésel

EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS
Tanques de almacenamiento	Se usarán para la recolección y almacenamiento del aceite recolectado.
Filtro	Se usarán, telas finas para la separación de partículas sólidas que estén dentro del aceite recolectado.
EQUIPOS	CARACTERÍSTICAS
Tanque de agitación y mezclado enchaquetado	Se utiliza para la mezcla del aceite con el metóxido, para la primera etapa de transesterificación del aceite a biodiésel. En el mismo ocurrirá la etapa de decantación de la glicerina y el biodiésel generado.
Tanque de agitación y mezclado enchaquetado	Se utiliza para la mezcla del aceite con el metóxido, para la segunda etapa de transesterificación del aceite a biodiésel. En el mismo ocurrirá la etapa de decantación de la glicerina y el biodiésel generado.

Tanque de agitación y mezcla	Para la etapa de lavado con agua del biodiésel producido. En el mismo también ocurrirá la decantación del agua y el biodiésel.
------------------------------	--

Fuente: *Elaboración propia*

TABLA 4.3. Equipamiento auxiliar para la planta de biodiésel

MÁQUINA	CARACTERÍSTICAS
Tanques de acopio	Tanques provistos de ruedas (<i>ver figura 4.3</i>) para la recolección del aceite.
Cañerías de PVC	Para la interconexión de los equipos en la producción de biodiésel.
Envases	Para recolectar la glicerina formada luego de la transesterificación.
MÁQUINA	CARACTERÍSTICAS
Instrumentos de vidrio de laboratorio, balanzas.	Para recojo de muestra y control de calidad del biodiésel generado.
Botellas de envasado	Se usarán envases adecuados para el almacenado del biodiésel hasta su uso o mezcla con el combustible diésel.

Fuente: *Elaboración propia*

De las tablas anteriores, se ha determinado que los equipos más importantes dentro de la producción de biodiésel serán los tanques de agitación y mezcla enchaquetados, ya que en ellos

ocurrirá la transformación del aceite a biodiésel y debe ocurrir en ciertas condiciones de trabajo, como es el caso de la temperatura a la cual debe ocurrir la mezcla entre el aceite y el metóxido de sodio.

4.3.2 Tamaño de la producción

El tamaño de la producción depende de los siguientes factores:

- Cantidad de materia prima a procesar.
- Disponibilidad del área para la instalación de la planta.
- Tiempo de trabajo de la planta de biodiésel.
- Número de personas que atenderán la producción de la planta.
- Demanda del producto.

Para el caso de la materia prima:

- Total de aceite posible obtener por casa = 450 ml.
- Total aproximado por la zona en delimitación = 216 litros
- Descontando el 20% de los no participantes = $216 \text{ litros} \times 0.2 = 200.8 \text{ litros}$

Cálculo de los 200.8 litros por semana que se trabajará:

- $200.8 \text{ litros} / 4 = 50.2 \text{ litros por semana}$

De la producción de 50.2 litros, se obtiene un 95% de biodiésel el cual representa un total de producción de 47.69 litros.

- $47.69 \text{ litros} \times (1 \text{ gal} / 3.786 \text{ litros}) = 12.6 \text{ gals}$ aproximado que se produce de biodiésel
- **El consumo es de 5 galones por semana de los agricultores**

Se tiene cubierta la producción de biodiésel para dos agricultores.

4.3.3 Tamaño de inversión

Una vez identificada la tecnología para el proceso de elaboración de biodiésel, se procederá a identificar las alternativas económicas de la maquinaria teniendo en cuenta la capacidad de producción.

A. Proforma A

IMAGEN 4.5. Proforma máquina para producir BIODIÉSEL



zoom



Ref.: 3011147



Precio: **2.000,00 €**
 **Solicita financiación ahora**
(Para agricultores y ganaderos)

Unidades Lote: 1 unidad
Área Venta: Argentina, Latinoamerica
Origen Producto: Argentina
Preparación: 45 días
Vendedor:  Maximiliano Temperley

Contactar Vendedor

Productos similares para comprar ahora:



[ver biodiesel para comprar ahora](#)

Información adicional

Características del producto

Código: 3011147

Nombre: Maquinaria para Producir Biodiesel

Comentarios sobre el precio: El precio indicado es para el reactor de biodiesel de 45 litros por proceso, sin automatización.

Origen del producto: Argentina

Área de Venta: Argentina, Latinoamerica

Descripción

Este reactor fue diseñado para proporcionar al usuario practicidad y velocidad en la producción.

Los pasos son muy simples y siguiendo las instrucciones de seguridad, nada peligrosos.

Gracias a la simplicidad de su diseño el mismo es muy confiable y duradero, su costo-beneficio es insuperable.

Disponemos reactores desde los 45 litros a 500 litros por proceso, pueden ser adaptados a la necesidad de cada cliente.

El tiempo de procesamiento es de entre 6 y 8 horas en promedio, pudiendo realizar varios procesos en el día, ya sea a partir de aceite nuevo como usado.

Este modelo posee un sistema de calentador instalado al tanque de reacción que permite obtener la temperatura óptima de reacción de forma rápida y segura.

La operación de la máquina permite que el usuario controle la temperatura del aceite a través del termostato con display digital y corte automático de forma de realizar la mezcla de los componentes a temperatura óptima.

Fuente: FESNAD

B. Proforma B

IMAGEN 4.6. Proforma de la máquina BIODIÉSEL Efueis 125L.



Ref.: 3082780

Twitter Facebook Google+ Heart

Precio: **4.995,00 €**
 **Solicita financiación ahora**
(Para agricultores y ganaderos)

Unidades Lote: 1 unidad
Área Venta: Mundial
Origen Producto: España
Preparación: 15 a 30 días
Vendedor:  José María Egea

Contactar Vendedor

Productos similares para comprar ahora:



[ver biodiesel para comprar ahora](#)

Información adicional

Características del producto

Código: 3011147

Nombre: Maquinaria para Producir Biodiesel

Comentarios sobre el precio: El precio indicado es para el reactor de biodiesel de 45 litros por proceso, sin automatización.

Origen del producto: Argentina

Área de Venta: Argentina, Latinoamérica

Descripción

Este reactor fue diseñado para proporcionar al usuario practicidad y velocidad en la producción.

Los pasos son muy simples y siguiendo las instrucciones de seguridad, nada peligrosos.

Gracias a la simplicidad de su diseño el mismo es muy confiable y duradero, su costo-beneficio es insuperable.

Disponemos reactores desde los 45 litros a 500 litros por proceso, pueden ser adaptados a la necesidad de cada cliente.

El tiempo de procesamiento es de entre 6 y 8 horas en promedio, pudiendo realizar varios procesos en el día, ya sea a partir de aceite nuevo como usado.

Este modelo posee un sistema de calentador instalado al tanque de reacción que permite obtener la temperatura óptima de reacción de forma rápida y segura.

La operación de la máquina permite que el usuario controle la temperatura del aceite a través del termostato con display digital y corte automático de forma de realizar la mezcla de los componentes a temperatura óptima.

Fuente: FASNAD

C. Proforma C

Para la confección de la planta piloto de biodiésel se considera el volumen de materia prima que estará disponible (ver punto 4.1.2).

Se considera tanques de agitación y mezcla con una capacidad de 70 litros cada uno, además de los tanques de almacenamientos de 100 litros.

TABLA 4.4. Costo de fabricación de la planta de biodiésel

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD EN DÓLARES	COSTO EN DÓLARES
Tanques almacenamiento	2	150	300
Filtro	1	50	50
Bomba para fluidos espesos	1	200C	200
Tanque de agitación y mezclado enchaquetado	2	350	700
Tuberías y accesorios	-	-	80
Tanque de agitación y mezcla	1	300	300
		TOTAL	1630

Fuente: Elaboración propia

El cuadro anterior se ha elaborado con datos proporcionado por talleres en la localidad de Arequipa.

A continuación, se muestra un cuadro comparativo de los precios para la elaboración de la planta piloto de biodiésel.

TABLA 4.5. Comparación de costos

PROVEEDOR	CAPACIDAD DE VOLUMEN	ORIGEN	COSTO DÓLARES
Maximiliano Temperley	45	Argentina	2214
José María Egea	125	Argentina	5530
Talleres en AQP	70	Perú	1630

Fuente: *Elaboración propia*

En el capítulo V, se detallara el análisis económico de la instalación de la planta en el local indicado.

4.4 Localización

Entre los factores más importantes a tomar en cuenta para la localización, se tiene:

- Cercanía a la materia prima: La cercanía a la materia prima es un factor preponderante para el estudio, así también se considera el estado de contaminantes sólidos presentes y el volumen de producción.

- Terrenos: El terreno es el espacio físico donde se encontrará la planta de biodiésel.

- Viabilidad técnica y ambiental: Por las características de este tipo de industria, no se tendrá inconvenientes en situarse en una zona urbana o sub urbana, en vista que no ofrece riesgos de contaminación ambiental y mucho menos causa molestias a la población existente en su área de influencia.

- Mano de obra: El proceso de selección para cada una de las líneas de producción es semimecanizado, requiriendo para este fin, mano de obra calificada y semicalificada, por el momento será propia.

- Servicios básicos (agua y energía eléctrica): Estos insumos resultan de relativa importancia, ya que la planta requiere de cantidades regulares de agua y luz, para ser utilizados en el proceso y para la utilización de la maquinaria y equipo.

- Construcción: Este factor junto con el factor terreno, se constituye como los de mayor valor económico, por lo tanto, inciden en el costo de inversión.

Finalmente, para definir la localización de la planta, se utilizará el método cualitativo por puntos que nos permitirá comparar los principales Factores determinantes entre una localización y otra, asignando valores ponderados de peso relativo de acuerdo a su importancia.

TABLA 4.6. Comparaciones para la elección de la ubicación más apropiada, mediante el método de factores de balanceo

Factores	Factor de balanceo	Localización de la planta	
		Dentro de la urbanización ya mencionada	Parque industrial
1. <u>Suministro de materia prima</u>			
- Disponibilidad	50	50	25
- Uso de materiales sustitutos.	20	15	15
- Distancia	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>15</u>
	100	95	55
2. <u>Mercado</u>			
- Demanda en función a la distancia	50	40	40
- Crecimiento o distribución	30	25	25
- Requisitos del inventario en bodega	10	5	5
- Competencia presente y futura	<u>20</u>	<u>10</u>	<u>5</u>
	100	80	75

3. <u>Energía y de combustible</u>			
- Disponibilidad de la electricidad y diversos tipos de combustibles	60	60	55
- Reservas futuras	20	20	20
- Costos	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>20</u>
	120	120	115
4. <u>Suministro de agua</u>			
- Calidad	10	9	9
- Cantidad	40	30	30
- Seguridad de suministro	40	30	30
- Costos	<u>30</u>	<u>15</u>	<u>10</u>
	120	84	79
5. <u>Clima</u>			
- Inversión para la construcción	20	15	15
- Condiciones de humedad y temperatura	20	15	15
- Huracanes, tornados y temblores	<u>20</u>	<u>15</u>	<u>15</u>
	60	100	100

6. <u>Transporte disponibilidad de costo</u>			
- Ferrocarril	30	10	20
- Carretera	30	10	20
- Agua	20	5	5
- Tubería	5	1	2
- Aire	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
	90	29	50
7. <u>Disposición de desperdicios</u>			
- Leyes reguladoras	30	20	30
- Posibilidad de usar las corrientes	20	5	5
- Posibilidad de contaminación de aire	<u>20</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
	70	26	36
8. <u>Mano de obra</u>			
- Disp. de obreros especializados	40	25	25
- Relaciones obrero-patronales	30	20	20
	<u>30</u>	<u>15</u>	<u>15</u>
- Estabilidad de los salarios	100	60	60
9. <u>Leyes Reguladoras</u>			

- Códigos para la construcción	10	5	5
- Ordenanzas locales	10	5	5
- Restricciones por carreteras	20	17	17
- Códigos sobre disp. de residuos.	<u>10</u> 50	<u>5</u> 32	<u>5</u> 32
10. <u>Impuestos</u>			
- Impuestos locales y estatales	10	5	5
- Exoneraciones industriales	<u>30</u>	<u>15</u>	<u>15</u>
	40	20	20
11. <u>Características del lugar existente</u>	60	50	50
12. <u>Factor de la comunidad</u>	30	15	20
13. <u>Vulnerabilidad en tiempo de guerra</u>			
- Distancia a instalaciones importantes	15	7	3
- Concentración General de la industria	<u>15</u>	<u>7</u>	<u>12</u>
	30	14	15

14. <u>Peligros de incendio e inundaciones</u>			
- Riesgo de incendio en alrededores	15	7	3
- Historia de las inundaciones y sistemas de prevención	<u>15</u>	<u>7</u>	<u>5</u>
	30	14	8
TOTAL	1000	739	715

Fuente: *Diseño de plantas industriales – Vilbrandt*

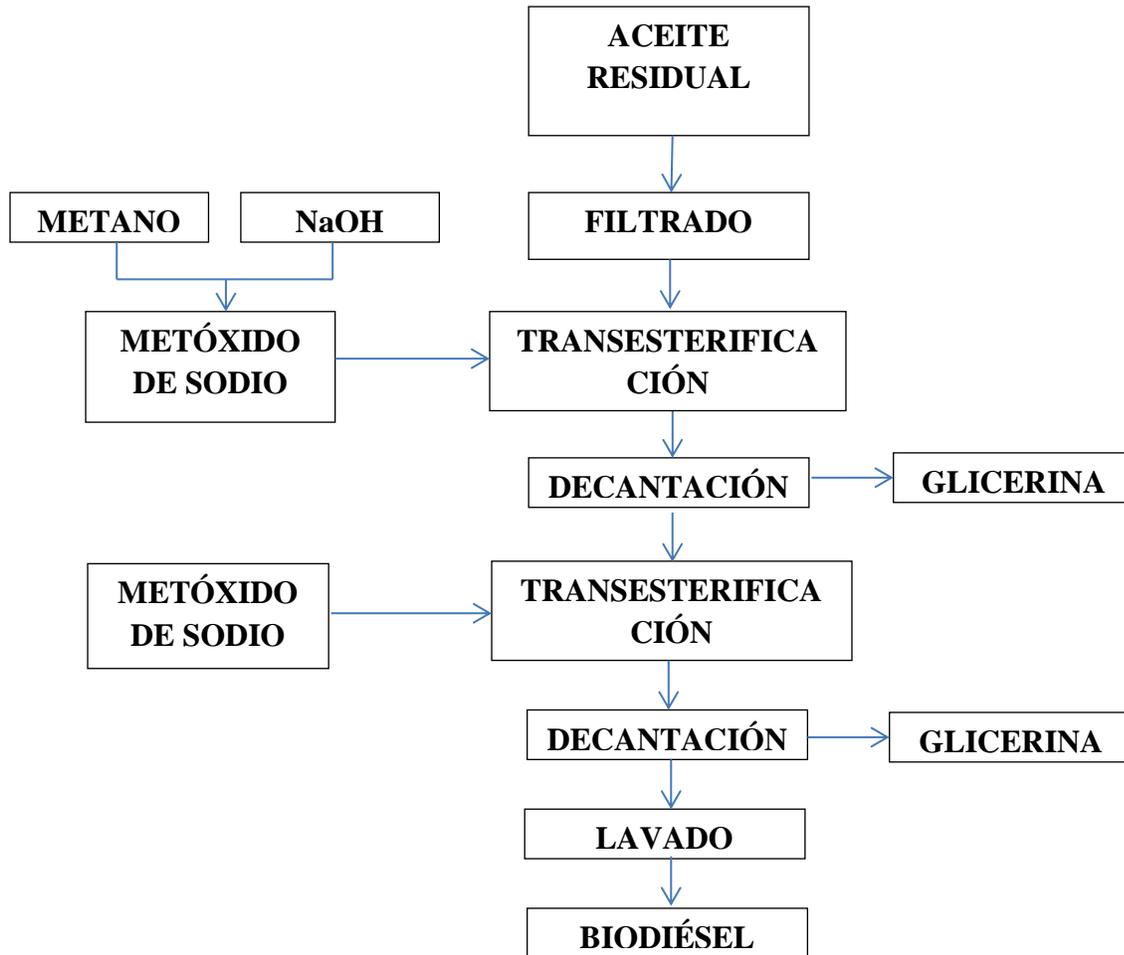
Este análisis demuestra que la ubicación elegida para el proyecto bordea el 74% de lo ideal, que al comparar con la otra ubicación con un 71%, se puede decir que los terrenos ubicados en la zona urbana son el lugar más adecuado para la instalación de la unidad productiva; además, se considera que ya hay infraestructura que se puede utilizar para el proyecto además de la disposición de la materia prima que estaría cerca del punto donde se procesará el aceite (*ver IMAGEN 4.1*).

4.5 INGENIERÍA DEL PROYECTO

4.5.1 Análisis del proceso productivo

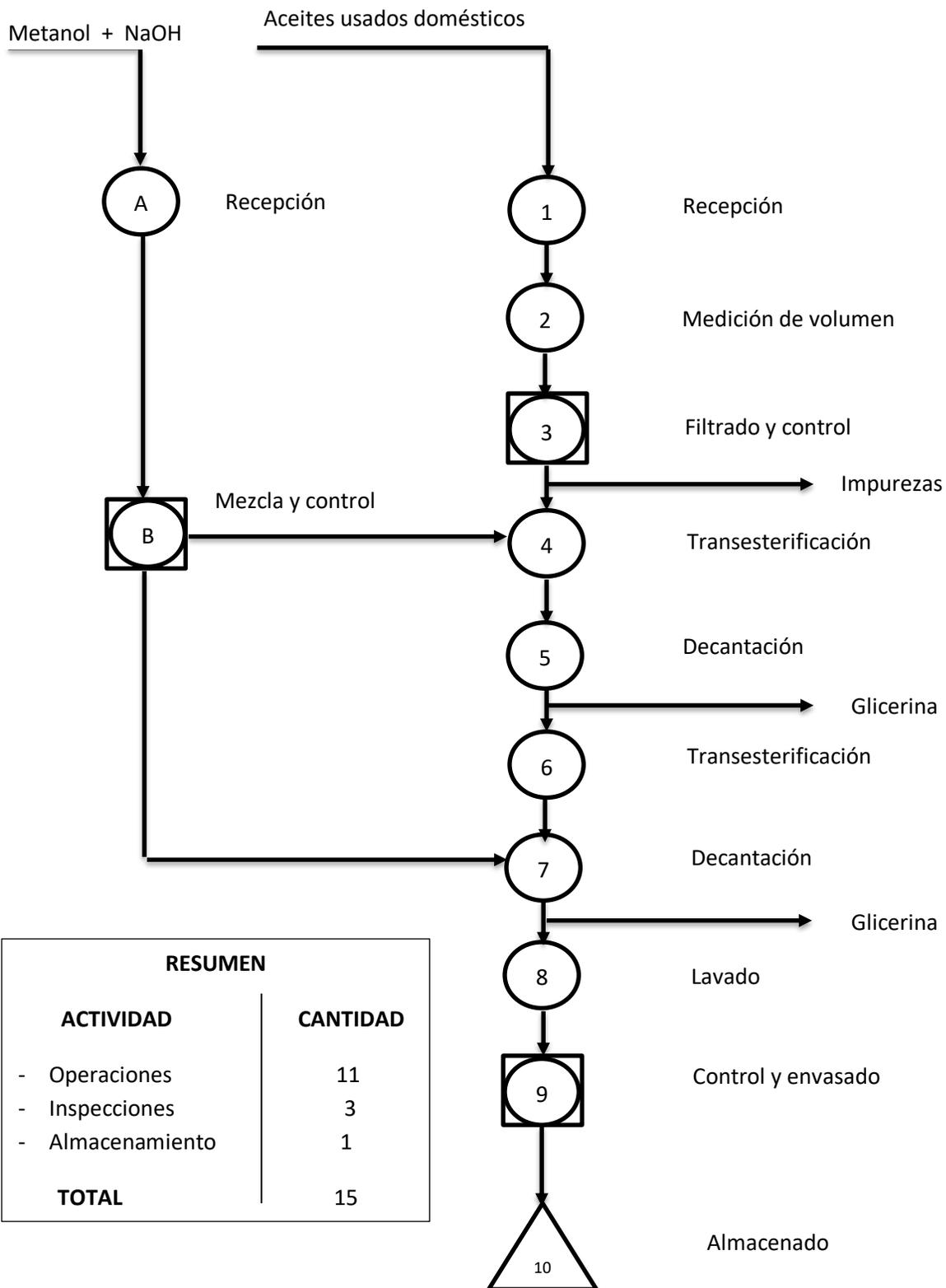
El presente análisis detalla el proceso técnico del proyecto para obtener biodiésel a partir del aceite vegetal doméstico el cual fue utilizado para la elaboración de alimentos especialmente de frituras, cuyo éxito va depender de controlar las condiciones de trabajo para la conversión del aceite a biodiésel en toda la línea de producción. Para esto, se propone el siguiente plan operacional:

CUADRO 4.12. Diagrama de bloques de la producción de biodiésel



Fuente: *Elaboración propia*

DIAGRAMA (DOP) DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL



RESUMEN	
ACTIVIDAD	CANTIDAD
- Operaciones	11
- Inspecciones	3
- Almacenamiento	1
TOTAL	15

DIAGRAMA DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE LA PLANTA DE BIODIÉSEL

Hecho por: Jonathan J. Avendaño S.

Sin escala

Fecha: Diciembre 2016

PROCEDIMIENTO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Para la producción del biodiésel, es obligatorio utilizar equipo de protección personal (EPP) pues se estará trabajando con reactivos y elementos que pueden causar daño o lesiones al operario.

A. Recolección del aceite residual

Mediante el método de recolección mencionado en el punto 4.1.2, se visita a 3 manzanas y se logra recolectar un total de 20 litros de aceite, el cual utilizaremos para realizar el ensayo de conversión a biodiésel.

Para la recolección de aceite será necesaria el siguiente EPP:

- Zapatos punta acero.
- Pantalón jean.
- Guantes de cuero (Ver anexo 2)

IMAGEN 4.7. Aceite doméstico recolectado



Fuente: *Elaboración propia*

B. Filtración del aceite residual

Como el aceite utilizado es de fritura, es posible que contenga partículas de comida, las cuales contienen agua. Si existe agua en la reacción, se obtiene jabón (saponificación), lo que dificulta la separación del biodiésel de la glicerina ($C_3H_8O_3$). Para evitar esto, el aceite es calentado a 35°C aproximadamente para otorgarle una mayor fluidez a través del filtro y luego es secado, calentándolo a 60°C con el fin de quitarle los restos de agua.

Antes de pasar a la reacción de transesterificación, procedemos a eliminar residuos sólidos como son restos orgánicos de frituras que pueda contener el aceite. Procederemos a la filtración del aceite usando tela de tocuyo.

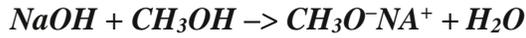
IMAGEN 4.8. Filtración del aceite



Fuente: *Elaboración propia*

C. Primera transesterificación

Antes de la reacción de transesterificación pasamos a generar el catalizador, metanol más hidróxido de sodio, para así formar el metóxido de sodio, según la siguiente reacción:



“Para la preparación de CH_3ONa , se utilizará, a modo de estimación, una cantidad de metanol (CH_3OH) igual al 20% del volumen que se tiene de aceite. Esto porque en la reacción de generación de metóxido de sodio (CH_3ONa) es el hidróxido de sodio (NaOH) el reactivo limitante, pues éste se encuentra en menor cantidad de la necesaria para que reaccionen ambos compuestos de forma ideal. Si tenemos en cuenta que para 100 litros de aceite usado se utilizan aproximadamente 20 litros de metanol y 500 gramos de NaOH ” (Escuela de ing. Agroindustrial – Universidad Cesar Vallejo).

En cuyo caso, para nuestro ensayo mezclaremos 4 litros de metanol con 100 gramos de NaOH , aseguramos la buena dilución del hidróxido de sodio en el metanol.

IMAGEN 4.9. Metóxido de sodio preparado



Fuente: *Elaboración propia*

Primera Transesterificación

Para este proceso una vez que logramos tener nuestro aceite totalmente libre de impurezas, agua y neutro, procedemos a verter el metóxido de sodio y mezclarlo, es ahora cuando los ácidos grasos se separan de la glicerina y el metanol se une a ellos para formar metilésteres (Biodiésel), el hidróxido de sodio estabiliza la glicerina. La reacción de este proceso ocurre en un reactor y el fluido debe estar agitándose constantemente durante unos 60 minutos (la reacción suele completarse en menos tiempo, pero es mejor asegurar la máxima cantidad de biodiésel), también calentaremos el aceite hasta los 60°C ayudara a que la glicerina no se solidifique y estropee la separación. Escuela de Ing. Agroindustrial – Universidad Cesar Vallejo

IMAGEN 4.10. Temperatura del aceite



Fuente: *Elaboración propia*

IMAGEN 4.11. Mezcla con el metóxido



Fuente: *Elaboración propia*

D. Decantación

En esta etapa, separaremos la glicerina que se ha formado luego de la primera transesterificación, dejaremos reposar la mezcla en un total de 6 horas.

IMAGEN 4.12. Extracción



Fuente: *Elaboración propia*

IMAGEN 4.13. Etapa de reposo y decantación



Fuente: Elaboración propia

E. Segunda Transesterificación

Repetiremos el paso "c" para lograr la mayor conversión del aceite a biodiésel, pero en esta ocasión utilizaremos la cuarta parte de metóxido de sodio empleado.

IMAGEN 4.14. Segunda transesterificación



Fuente: Elaboración propia

F. Decantación

Volvemos a separar la glicerina que se ha formado luego de la segunda trans-esterificación, dejaremos reposar la mezcla en un total de 4 horas.

IMAGEN 4.15. Muestra decantada en la pera de decantación



Fuente: Elaboración propia

G. Lavado y larificado

El biodiésel generado pasa por una etapa de lavado con agua a 40°C, es mezclado en el tanque de agitación y mezclar para luego separar, esta etapa se hace con el fin de diluir glicerina que se haya formado y no se haya podido decantar en la etapa anterior; además. es la primera etapa de clarificación del biodiésel. Después del lavado, pasaremos el biodiésel por una filtración en papel filtro.

IMAGEN 4.16. Muestra en filtración



Fuente: *Elaboración propia*

IMAGEN 4.17. Muestra filtrada



Fuente: *Elaboración propia*

H. Envasado

Una vez filtrado el biodiésel será envasado en tanques de PVC grueso para luego ser usado.

INDICACIONES

- El producto generado será utilizado para vehículos de combustión interna los cuales usen como combustible el diésel.

- El biodiésel no podrá ser usado puro para los motores de vehículos, pues estos no han sido diseñados para trabajar con biodiésel pudiendo generar desgaste y deterioro de piezas; no obstante, sí se puede añadir un determinado porcentaje y no afectará en el desempeño ni reducirá vida útil a las piezas del motor, por norma de puede utilizar desde un 2% a un 20% de biodiésel en diésel en artículo 9 del DECRETO SUPREMO N° 021-2007-EM. (***Ver anexo 3***).

- **Para la producción de biodiésel se requerirá del siguiente EPP:**
 - Mandil delantero impermeable.
 - Guantes impermeables.
 - Respirador de carbón.
 - Gafas transparentes (Ver anexo)

TABLA 4.7. Porcentajes según ley de biodiésel y diésel

% Vol. Biodiésel B100	% Vol. Diésel N°2	Denominación
2	98	Diésel B2
5	95	Diésel B5
20	80	Diésel B20

FUENTE: *Normas legales, El Peruano*

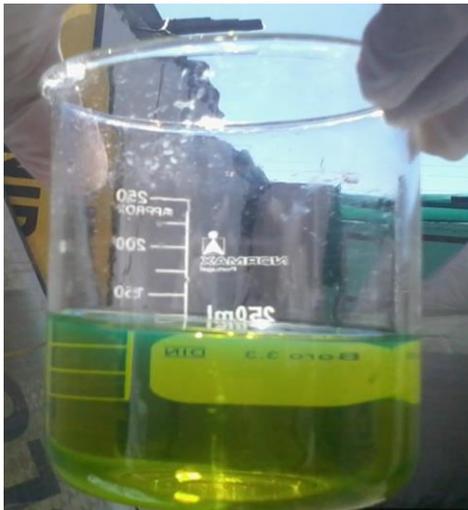
4.5.2 Pruebas de Calidad del producto

Compararemos algunas propiedades físicas del biodiésel extraído con el diésel.

A. Traslucidez

El producto no debe contener sólidos en suspensión y dejar pasar libremente la luz.

IMAGEN 4.18. Diésel comercial



Fuente: Elaboración propia

IMAGEN 4.19. Biodiésel producido



Fuente: *Elaboración propia*

B. Comparación de la densidad

Se mide la densidad del producto midiendo un volumen determinado y pesándolo en una balanza.

IMAGEN 4.20. Densidad diésel comercial



Fuente: *Elaboración propia*

IMAGEN 4.21. Densidad biodiésel producido



Fuente: *Elaboración propia*

TABLA 4. 8. Comparaciones según la experiencia de biodiésel y diésel

	Diésel Comercial	Biodiésel Producido
Densidad – g/ml	0.89	0.93

Fuente: *Elaboración propia*

Al comparar las densidades, una propiedad física del producto, podemos observar que son muy similares tanto del diésel comercial y el biodiésel producido, con una diferencia de 0.04 puntos.

C. Viscosidad cinemática

La viscosidad es la resistencia que ofrece un fluido ante deformaciones tangenciales y depende de cada sustancia y de la temperatura. La determinación de esta propiedad para el biodiésel se hará mediante la medición del tiempo que tarda una cantidad definida de biodiésel en

pasar por un tubo de pequeño diámetro por acción de la gravedad y la confrontación de este valor con una curva de calibración del equipo, que relaciona ese tiempo con la viscosidad cinemática.

1. Viscosímetro de Ostwald

Para el cálculo de la viscosidad cinemática, se tuvo en cuenta la siguiente fórmula:

$$C = \frac{v}{t}$$

Donde:

C = Constante del viscosímetro

v = Viscosidad cinemática para el líquido estándar (mm²/s)

t = Tiempo de flujo en segundos.

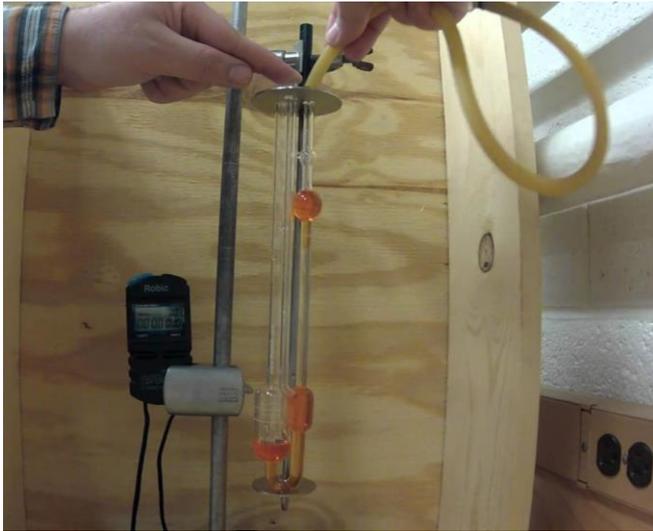
TABLA 4.9. Comparaciones según experiencia de biodiésel y diésel

	Diésel Comercial	Biodiésel Producido
Viscosidad – mm²/s	4.94	5.03

Fuente: *Elaboración propia*

Al comparar las viscosidades, una propiedad física del producto, podemos observar que son muy similares tanto del diésel comercial y el biodiésel producido con una diferencia de 0.09 puntos.

IMAGEN 4.22. Ensayo viscosímetro Oswald



Fuente: Elaboración propia

4.6 Diseño del prototipo

Principalmente, el equipo que requiere mayor diseño son los agitadores en los que ocurrirá la transesterificación, el volumen de los tanques serán de 70 litros según lo analizado en el punto

A. Cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento

- El propósito del tanque será la de contener el aceite para su posttransformación a biodiésel, la cual contendrá una salida cónica para la salida de dicho aceite y evitar que se quede aceite residual en el tanque.

Se asume que la altura del cilindro será igual a su diámetro y que el ángulo de la parte cónica sea de 45° , significando esto que el radio de la parte cilíndrica es igual a la altura de la parte cónica.

De esta manera se tiene:

h = altura del cilindro

D = diámetro del cilindro

r = radio del cilindro

h = D

r = D/2 = h/2

Luego, el volumen del tanque cilíndrico con fondo cónico será la suma del volumen del cilindro y el volumen del fondo cónico

$$V_t = \pi r^2 h + 1/3 \pi r^2 h'$$

$$V_t = \pi (h/2)^2 h + 1/3 \pi (h/2)^2 h/2$$

$$V_t = \frac{\pi h^3}{4} + \frac{\pi h^3}{24} = \frac{7\pi h^3}{24}$$

Despejando h se tiene

$$h = \sqrt[3]{\frac{24V_t}{7\pi}} = \sqrt[3]{\frac{(24)(0.07)}{7(3.1416)}}$$

$$\mathbf{h = 0.42 \text{ m}}$$

$$\mathbf{h = 42 \text{ cm}}$$

Entonces, las dimensiones del tanque de almacenamiento serán:

- Altura de la parte cilíndrica **h = 42 cm**

- Diámetro de la parte cilíndrica $D = 42 \text{ cm}$
- Altura de la parte cónica $h' = 21 \text{ cm}$

B. Especificaciones del tanque de almacenamiento

- Volumen 70 litros
- Altura total 100 cm
- Altura del cilindro 42 cm
- Altura del cono 21 cm
- Diámetro total 42 cm
- Material: Acero Inox
- Espesor 1/16 pulg
- Área del cilindro 1.38 m^2
- Área total 2 m^2

C. Cálculo de la potencia del agitador

- El propósito del agitador es de brindar la potencia necesaria para remover el aceite y pueda ser mezclado eficientemente con los reactivos que se añadirán para su transformación a biodiésel.

Tomando como referencia la Biblioteca del Ingeniero Químico, Perry 19-10, en el diseño de equipos de agitación, el diámetro de la turbina tiene que ser de $D_i / 3$. El tipo de turbina que se elige es el radial y de 8 palas a 100 RPM.

1. Cálculo del diámetro del propulsor

Utilizando la siguiente relación:

$$D_p = D_i / 3$$

Se tiene que el diámetro del propulsor estará de acuerdo al diámetro del tanque.

Reemplazando

$$D_p = \frac{D(\text{cilindro})}{3} = \frac{42}{3} = 14\text{cm}$$

Diámetro del propulsor = 14 cm

2. Cálculo de la distancia del impulsor a la base del tanque (E)

Utilizando la siguiente relación:

$$E = D_i/3$$

$$E = 14 \text{ cm}$$

Distancia del impulsor a la base del tanque = 14 cm

3. Cálculo del ancho de las paletas (W)

Utilizando la siguiente relación:

$$W = D_p/5$$

$$W = 2.8 \text{ cm}$$

Ancho de las paletas = 2.8 cm

4. Cálculo de los deflectores (J)

Utilizando la siguiente relación para el cálculo del ancho de los deflectores:

$$J = D_i/10$$

$$J = 4.2 \text{ cm}$$

Ancho de los deflectores = 4.2 cm

NOTA:

- Se utilizará un motor de 1HP, el cual se conectará a un motoreductor para reducir los RPM hasta entrar a un rango de 50 a 200.

IMAGEN 4.23. Diseño de tanque de fondo cónico

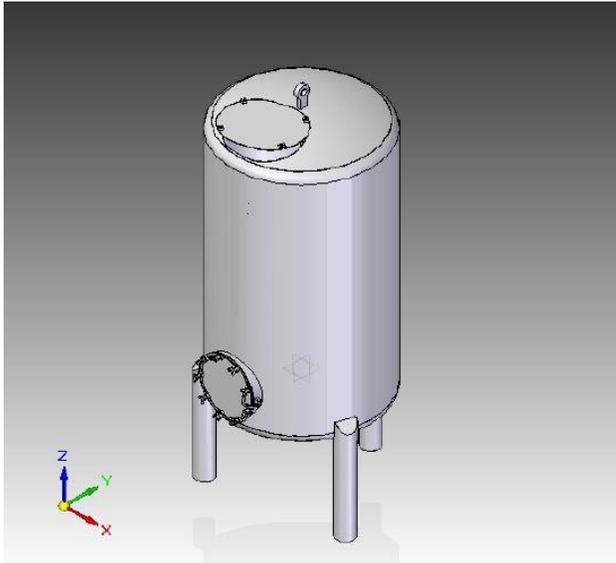


Fuente: *Elaboración propia*

NOTA: Se consideran dos tanques cónicos para la producción de biodiésel.

Con respecto al tanque de abastecimiento a los reactores tendrá una capacidad de 100 litros,

IMAGEN 4.24. Diseño de tanque



Fuente: Elaboración propia

4.7 TAMAÑO DE LA PLANTA

Por considerarse un planta piloto para el tratamiento de aceite de una pequeña área de la zona urbana presentada, y por el tamaño de los equipos ya diseñados anteriormente, se ve que el área máxima que ocuparía la instalación de la planta sería alrededor de 15 a 20 m².

4.7.1 Distribución de la Planta

Consiste en el orden físico de los elementos industriales, vale decir materia prima, maquinaria y hombre (puestos de trabajo de mano de obra directa). Además, incluye los espacios necesarios para el movimiento del material y almacenamiento del producto.

A. Cálculo del Área requerida

La fórmula generalmente utilizada es la que corresponde a P.F. Gouchet que dice lo siguiente:

$$\mathbf{S = Ss + Sg + Se}$$

Donde:

S = Área total por cada elemento

Ss = Superficie estática

Sg = Superficie de gravitación

Se = Superficie de evolución

a. Superficie estática (Ss)

Está definido por las dimensiones de la máquina o elemento a distribuir. Es recomendable aproximar la figura del elemento o máquina distribuir a un área definida o conocida (cuadrado, rectángulo, etc.). Para los operarios, se considera una superficie estática de 0,5m².

b. Superficie de gravitación (Sg)

Está definido por la superficie utilizada alrededor de los puestos de trabajo por el operario y por el material acopiado para las operaciones en curso.

Para el cálculo de ésta superficie, se tiene en cuenta el número de lados por donde se utiliza la máquina o elemento. De esta manera se obtiene que:

$$\mathbf{Sg = Ss * n}$$

Donde:

n = número de lados por donde opera la máquina o elemento.

c. Superficie de evolución (Se)

Está definida como aquella superficie que hay que reservar entre los puestos de trabajo para los desplazamientos del personal, material, mantenimiento y manutención (manejo de materiales y mantenimiento). Para calcular esta superficie, se tiene en cuenta la altura de las máquinas y elementos, así como también el tipo de manejo de materiales.

$$Se = (Ss + Sg) * K$$

Donde:

K= Coeficiente del avance tecnológico para el manejo de materiales.

Está definida de la siguiente manera:

$$K = EM / (2 * EE)$$

Donde:

EM = Promedio de las alturas de los elementos móviles.

EE = Promedio de las alturas de los elementos estáticos.

$$EE = (\sum(Ss * N * h)) / (\sum(Ss * N))$$

$$EM = (\sum(A * N * h)) / (\sum(A * N))$$

Donde:

N = Número de máquinas o elementos a distribuir.

Para el cálculo de la superficie total requerida para el proyecto, se consideran los cálculos que se presentan en los siguientes cuadros:

TABLA 4.10. Cálculo de los elementos estáticos

Máquina	Dimensiones				Ss	Ss*N	Ss*N*h
	Largo	Ancho	Altura	h m			
Tanque de agitación y mezcla enchaquetado	0.42	0.42	1		0.18	0.36	0.36
Tanque de almacenamiento y recepción	0.50	0.50	0.50		0.25	0.5	0.25
						0.86	0.61

Fuente: *Elaboración propia*

$$EE = 0.61/0.86$$

$$EE = 0.71$$

TABLA 4.11. Cálculo de los elementos móviles

Máquina	Dimensiones (m)					Ss	Sg	Ss*N	Ss*N*h
	Largo	Ancho	Altura						
Carril o recolector	0.4	0.4	1			0.16	0.60	1.8	1.8
Total								1.8	1.8

Fuente: *Elaboración propia*

$$EM= 1$$

$$K= EM / 2 \times EE = 1/1.42 = 0.7$$

B. Cálculo del área total

Aplicando el valor K a las máquinas, determinamos el área total tal como apreciamos en la siguiente tabla:

TABLA 4.12. Cálculo del área total

Elemento	Ss	Sg	Se	Ss+Sg+Se	N	ST
Tanque de agitación y mezcla enchaquetado	0.18	0.36	0.378	0.918	2	1.836
Tanque de almacenamiento y recepción	0.25	0.50	0.525	1.275	2	2.55
Total						4.4

Fuente: *Elaboración propia*

El área para el proceso no requerirá más de 5m², considerando que se debe dejar área para almacenar el aceite y el biodiésel que se producirá. El área con el que se cuenta de 20 m², abastece sin problemas el área que se requiere para trabajar la conversión del aceite a biodiésel.

Nota: en el siguiente gráfico, se muestra la disposición del área ya edificada que se encuentra para implementarla con los equipos de producción de Biodiésel.

Distribución de la Planta

Se realizará un análisis, para poder proponer una opción de distribución de la planta para la elaboración de biodiésel, se contará con las siguientes áreas:

- i. Almacén de materia prima e insumos
- ii. Pretratamiento del aceite
- iii. Área de disolución del catalizador
- iv. Etapa de transesterificación
- v. Posttratamiento del biodiésel
- vi. Zona de análisis de calidad de biodiésel
- vii. Almacén de producto terminado

TABLA 4.13. Área aproximada de cada una de las áreas descritas anteriormente.

CÓDIGO	DEFINICIÓN	ÁREA
AMI	Almacén de materia prima e insumos	3 m²
PDA	Pretratamiento del aceite	1.83 m²
ADC	Área de disolución del catalizador	
EDT	Etapas de transesterificación	2.55 m²
PTB	Posttratamiento del biodiésel	
ZAC	Zona de análisis de calidad	3 m²
APT	Almacén del producto terminado	3 m²
OCA	Oficina de control administrativo	3 m²

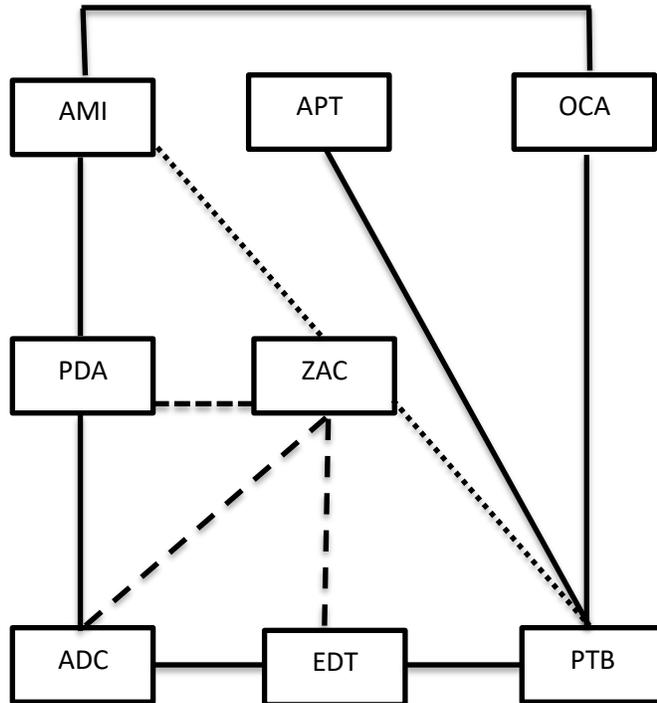
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.14. Clasificación de cercanía entre áreas

Símbolo	Grado	Definición
————	A	Absolutamente necesaria
.....	E	Especialmente importante
-----	I	Importante
- - - - -	O	Ordinaria
	U	No importante
- . - . -	X	Indeseable

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.13. Diagrama de relación de actividades



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el plano de distribución de la planta, considerando que la zona disponible es la delimitada con rojo.

PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

4.8 IMPACTO AMBIENTAL

Realizar un estudio de impacto ambiental, puede parecer a muchos grupos y comunidades que buscan financiamiento para una inversión, tan solo un aumento en el trabajo requerido que no proporciona beneficios sustanciales. Con demasiada frecuencia, el estudio ambiental se ve como algo requerido con el único propósito de satisfacer las demandas de los habitantes de las ciudades o de los extranjeros, que apenas si conocen los problemas que existen en el área del proyecto.

No obstante, la realidad es muy distinta. La evaluación ambiental no es solo un obstáculo que los solicitantes deben superar para recibir el financiamiento; en lugar de esto, es una herramienta que asegurará que los recursos invertidos darán al proyecto la sostenibilidad a largo plazo que es esencial. Es importante recordar que no todas las inversiones requieren de un estudio medioambiental detallado.

4.8.1. PLAN DE MONITOREO

Consiste en un plan para controlar la implementación de las medidas de mitigación de los impactos del proyecto durante su implementación y ejecución.

Objetivos. Entre sus principales objetivos se citan:

- Controlar los niveles de la contaminación del suelo, y aguas en el área de influencia directa del emprendimiento.
- Evaluar los niveles de contaminación del aire, agua, suelo en el área de influencia determinada para el emprendimiento en forma ambiental, a manera de controlar que los mismos se encuentren dentro de los niveles aceptables, de acuerdo a las normas internacionales de salubridad e higiene.
- Analizar la dinámica, número, disminución, extinción o aparición de especies y la actividad antrópica que se produce en la zona de influencia de las obras del emprendimiento.
- Control y seguimiento de las características físico-químicas del suelo. Programa de seguimiento de monitoreo. Los programas de seguimiento son funciones de apoyo a la gerencia del proyecto desde una perspectiva de control de la calidad ambiental. El Estudio de Impacto Ambiental propuesto suministra una posibilidad de minimización de los riesgos ambientales del proyecto, es además un instrumento para el seguimiento de las acciones en la etapa de ejecución.

El programa de monitoreo permite establecer los lineamientos para verificar cualquier discrepancia relevante, en relación con los resultados del Estudio de Impacto Ambiental y establecer sus causas. Programa de seguimiento de las medidas propuestas. El programa de seguimiento es la etapa culminante del proceso de incorporación de la variable ambiental en los proyectos de desarrollo, ya que se presenta la vigilancia y el control de todas las medidas que se previeron a nivel del Estudio de Impacto Ambiental. Brinda la oportunidad de retroalimentar los instrumentos de predicción utilizados, al suministrar información sobre estadísticas ambientales. Asimismo, sirve como instrumento para la toma de decisiones. El programa representa la acción cotidiana, la atención permanente y el mantenimiento del equilibrio en la ecuación ambiente-actividad productividad, que se establece en el esfuerzo puntual representado por el estudio de Impacto Ambiental.

Con esto se comprueba que el proyecto se ajusta a las normas establecidas para la minimización de los riesgos ambientales, cuidado, y sobre todo que circunstancias coyunturales no alteren en forma significativa las medidas de protección ambiental.

- A) **Vigilar implica** La atención permanente en la fase de inversión y desarrollo del proyecto. Verificación del cumplimiento de las medidas previstas para evitar impactos ambientales negativos. Detección de impactos no previstos. Atención a la modificación de las medidas.
- B) **Por otro lado, el control es el conjunto de acciones realizadas coordinadamente por los responsables para** obtener el consenso necesario para instrumentar medidas adicionales en caso de que sea necesario. Postergar la aplicación de determinadas medidas si fuera necesario. Modificar algunas medidas de manera tal que se logren mejoras técnicas y/o económicas. En resumen, el programa de seguimiento verificará la aplicación de las medidas para evitar consecuencias indeseables. Por lo general, estas medidas son de duración permanente o semipermanentes, por lo que es recomendable efectuar un monitoreo ambiental a lo largo del tiempo.
- C) **Indicadores y sitios de muestreo propuestos por el estudio de impacto ambiental del proyecto.** El análisis de los indicadores de los recursos naturales del proyecto en los sitios de muestreo propuestos ayudará a documentarse al productor y obtener una lectura

periódica de los efectos ambientales del proyecto. De dicha lectura se tendrá una herramienta que podrá ayudar a corregir impactos negativos no detectados durante el estudio o bien potenciar ciertos impactos positivos que no fueron tenidos en cuenta. En el siguiente cuadro, se presentan los recursos a ser monitoreados, indicadores y sitios propuestos.

TABLA 4.15. Indicadores y sitios de muestreo propuestos por el estudio de impacto ambiental del proyecto

Recurso	Indicador	Sitios de muestreo
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en el espesor del suelo. • Contenido de materia orgánica. • Propiedades físicas y químicas del suelo. • Compactación del suelo. 	Áreas de uso intensivo de la planta
Agua superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Características físico-químicas • pH • Sólidos en suspensión • Turbidez 	Zona de acumulación de aguas
Habitats	Cambio en las poblaciones silvestre	En toda la propiedad

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Generalidades

Por su estructura propia, el presente estudio será considerado como un anteproyecto marginal, significa que se aprovechará la infraestructura existente, y la factibilidad para la instalación de la pequeña planta productora de biodiésel.

5.2 Inversión Fija

Las inversiones para el proyecto están constituidos por los bienes físicos y la determinación de los bienes intangibles o montajes.

Se puede obtener un costo aproximado de los diferentes factores que determinan los costos directos e indirectos en función al tipo de proceso y al costo del equipo puesto en planta.

5.2.1 Equipo y maquinaria

A continuación, se muestra una tabla que resume el costo de los equipos para una capacidad de 208 litros al mes. Algunos han sido cotizados directamente mientras que los costos de otros son calculados tomando como referencia el costo de material y manufactura, y utilizando un método para estimar su valor actual a la capacidad requerida.

TABLA 5.1. COSTO DE LOS EQUIPOS

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD EN DOLARES	COSTO EN DOLARES
Tanques de almacenamiento	2	150	300
Filtro	1	50	50
Bomba para fluidos espesos	1	200	200
Tanque de agitación y mezclado enchaquetado	2	350	700
Tuberías y accesorios	-	-	80
Tanque de agitación y mezcla	1	300	300
TOTAL			1 630

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Costos directos

A continuación, se muestra una tabla que resume aquellos factores que intervienen en los costos directos con su correspondiente valor aproximado

**TABLA 5.2. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DIRECTOS EN FUNCIÓN DEL
COSTO DE EQUIPO**

RUBRO DE COSTOS	% DEL COSTO DE EQUIPO	COSTO EN DÓLARES
1. Equipo comprado puesto en planta.	100	1 630
2. Instalación del equipo	47	766.1
3. Instrumentos y control	18	293.4
4. Accesorios eléctricos instalados	11	179.3
5. Edificaciones	8	130.4
6. Mejoras del terreno	4	65.2
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	3 064.4

FUENTE: Peters – Timmerhause Diseño de plantas industriales

5.2.3 Costos indirectos

De igual manera, se presenta un cuadro donde se observan los valores aproximados de los factores que intervienen en los costos indirectos

TABLA 5.3. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS INDIRECTOS EN FUNCIÓN DEL COSTO DEL EQUIPO

RUBRO DE COSTOS	% DEL COSTO DE EQUIPO	COSTO EN DÓLARES
Ingeniería y supervisión	33	537.9
Gastos de construcción	41	668.3
	COSTOS INDIRECTOS	1 206.2

Fuente: Peters – Timmerhause Diseño de plantas industriales

5.2.4 Inversión de capital total

Es la suma total de los factores mostrados en el siguiente cuadro:

TABLA 5.4. ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL CAPITAL TOTAL (KIT) EN FUNCIÓN DEL COSTO DE EQUIPO

RUBRO DE COSTOS	% DEL COSTO DE EQUIPO	COSTO EN DÓLARES
Costos directos	-	3 064.4
Costos indirectos	-	1 206.2
Pago de contratistas	21	342.3
Imprevistos	20	326
	Inversión de capital fijo(KIF)	5 478.9

Fuente: Peters – Timmerhause Diseño de plantas industriales

5.3 Financiamiento

Nos referimos a la entidad o persona que aportará el capital económico para el desarrollo del proyecto. En este punto, consideramos que el desarrollo del proyecto será por aporte propio; pero por fines comparativos también se ha evaluado la posibilidad de desarrollarlo a través de un crédito proporcionado por la Caja Arequipa, con un 55% de participación.

Para el presente anteproyecto se considera:

- Aporte propio (sin apalancamiento)

Jonathan Avendaño: 100%

- Aporte compartido (con apalancamiento)

Jonathan Avendaño: 45%

Financiera: 55%

TABLA 5.5. AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMO

Cuota	Fecha	Días	Amortización	Intereses	Cuota a pagar	Deuda
0	24/02/2017	0	0.00	0.00	0.00	10 000.00
1	05/03/2017	9	271.33	88.50	359.84	9 728.67
2	05/04/2017	31	60.04	299.80	359.84	9 668.63
3	05/05/2017	30	71.64	288.19	359.84	9 596.98
4	05/06/2017	31	64.10	295.74	359.84	9 532.88
5	05/07/2017	30	75.69	284.15	359.84	9 457.19
6	05/08/2017	31	68.41	291.43	359.84	9 388.79
7	05/09/2017	31	70.51	289.32	359.84	9 318.27
8	05/10/2017	30	82.09	277.75	359.84	9 236.19
9	05/11/2017	31	75.22	284.62	359.84	9 160.97
10	05/12/2017	30	86.78	273.06	359.84	9 074.19

11	05/01/2018	31	80.21	279.63	359.84	8 993.98
12	05/02/2018	31	82.68	277.16	359.84	8 911.30
13	05/03/2018	28	112.17	247.67	359.84	8 799.13
14	05/04/2018	31	88.68	271.15	359.84	8 710.45
15	05/05/2018	30	100.20	259.63	359.84	8 610.24
16	05/06/2018	31	94.51	265.33	359.84	8 515.74
17	05/07/2018	30	106.01	253.83	359.84	8 409.73
18	05/08/2018	31	100.68	259.15	359.84	8 309.05
19	05/09/2018	31	103.79	256.05	359.84	8 205.26
20	05/10/2018	30	115.26	244.57	359.84	8 090.00
21	05/11/2018	31	110.54	249.30	359.84	7 979.46
22	05/12/2018	30	121.99	237.84	359.84	7 857.47
23	05/01/2019	31	117.70	242.13	359.84	7 739.76
24	05/02/2019	31	121.33	238.51	359.84	7 618.43

25	05/03/2019	28	148.10	211.74	359.84	7 470.33
26	05/04/2019	31	129.63	230.20	359.84	7 340.70
27	05/05/2019	30	141.03	218.80	359.84	7 199.66
28	05/06/2019	31	137.97	221.86	359.84	7 061.69
29	05/07/2019	30	149.35	210.49	359.84	6 912.34
30	05/08/2019	31	146.83	213.01	359.84	6 765.51
31	05/09/2019	31	51.35	208.48	359.84	6 614.16
32	05/10/2019	30	162.69	197.15	359.84	6 451.47
33	05/11/2019	31	161.03	198.81	359.84	6 290.44
34	05/12/2019	30	172.34	187.50	359.84	6 118.10
35	05/01/2020	31	171.30	188.53	359.84	5 946.80
36	05/02/2020	31	176.58	183.26	359.84	5 770.22
37	05/03/2020	29	193.66	166.18	359.84	5 576.56
38	05/04/2020	31	187.99	171.85	359.84	5 388.57

39	05/05/2020	30	199.22	160.62	359.84	5 189.35
40	05/06/2020	31	199.92	159.91	359.84	4 989.42
41	05/07/2020	30	211.12	148.72	359.84	4 778.31
42	05/08/2020	31	212.59	147.25	359.84	4 565.72
43	05/09/2020	31	219.14	140.70	359.84	4 346.58
44	05/10/2020	30	230.28	129.56	359.84	4 116.30
45	05/11/2020	31	232.99	126.85	359.84	3 883.31
46	05/12/2020	30	244.09	115.75	359.84	3 639.22
47	05/01/2021	31	247.69	112.15	359.84	3 391.53
48	05/02/2021	31	255.32	104.51	359.84	3 136.20
49	05/03/2021	28	272.67	87.16	359.84	2 863.53
50	05/04/2021	31	271.60	88.24	359.84	2 591.93
51	05/05/2021	30	282.58	77.26	359.84	2 309.35
52	05/06/2021	31	288.67	71.16	359.84	2 020.68

53	05/07/2021	30	299.61	60.23	359.84	1 721.07
54	05/08/2021	31	306.80	53.04	359.84	1 414.27
55	05/09/2021	31	316.26	43.58	359.84	1 098.02
56	05/10/2021	30	327.11	32.73	359.84	770.91
57	05/11/2021	31	336.08	23.76	359.84	434.83
58	05/12/2021	30	346.88	12.96	359.84	87.95
59	05/01/2022	31	357.13	2.71	359.84	0.00
60	05/02/2022	31	359.84	0.00	359.84	0.00

Fuente: Caja Arequipa

5.4 Presupuestos

Son los desembolsos que se efectúa por concepto de uso de factores de producción (esta en relación al volumen de producción). Son los valores de la materia prima, recursos humanos y financieros utilizados para la producción.

5.4.1 Ingresos

Los ingresos obtenidos son básicamente por el concepto de venta del biodiésel generado. Para determinar los ingresos, se hizo una estimación a partir de la capacidad de producción actual de la planta.

Producción total de biodiésel : 50.4 gls de biodiésel mensual.

Ingresos : 6 dólares/galón de biodiésel

Total de ingreso: 50.4 gls de biodiésel x 8 dólares/galón de biodiésel

Total de ingreso mensual: 403.2 Dólares mensuales

Total de ingreso anual: 4 838.4 Dólares anuales

Total de galones producidos por año: $50.4 * 12 = 604$

5.4.2 Egresos

Como se trata de un anteproyecto para la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes en una planta existente, los egresos están determinados por los siguientes elementos:

- Costos directos
- Costos indirectos

5.4.2.1 Costos directos

Son los insumos químicos y la mano de obra que se usa para el tratamiento.

A. Costo de la materia prima directa

TABLA 5.6. COSTOS DE MATERIA PRIMA DIRECTA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Insumos	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Hidróxido de sodio	2 kg/ mes	1 U\$\$/kg	2 2 U\$\$ / mes
Metanol	10 L / mes	0.2 U\$\$/L	2 2 U\$\$ / mes
		TOTAL	4 4 U\$\$ / mes

Fuente: Elaboración propia

B. Mano de obra directa

Se requiere un operario que esté a cargo de las labores de control, monitoreo y supervisión del proceso.

TABLA 5.7. COSTO DE LA MANO DE OBRA DIRECTA

DETALLE	CANTIDAD	REMUNERACIÓN MENSUAL (\$)	REMUNERACIÓN MENSUAL TOTAL (S/.)
- Operarios	1	257.7	850
		TOTAL DE MANO DE OBRA DIRECTA	850

Fuente: Elaboración propia

B. Costos directos totales

TABLA 5.8. COSTOS DIRECTOS TOTALES

RUBRO	COSTO EN DÓLARES
MATERIA PRIMA DIRECTA	4
MANO DE OBRA DIRECTA	257.7
TOTAL	261.7

Fuente: Elaboración propia

5.4.2.2. Costos indirectos

Son los costos que no entran directamente en la producción, tenemos:

Materiales y suministros indirectos

TABLA 5.9. Materiales y suministros indirectos

Suministros	Cantidad KW-Hr/Mes	COSTO UNIDAD (DÓLARES)	TOTAL U\$\$
Energía eléctrica	25.3	0.9	22.77
		TOTAL	22.77

Fuente: Elaboración propia

Mano de obra indirecta

Representa el 2% de materiales directos, esto es:

$$4 \times 0.02 = 0.08 \text{ USS /mes}$$

Mantenimiento

Son costos por mantenimiento de equipos, etc que a continuación se detalla en la siguiente tabla:

TABLA 5.10. Mantenimiento

Rubro	Inversión \$	Tasa %	Total \$
Obras civiles	130.4	1	1.3
Maquinaria y equipo	1630	4.5	73.35
		TOTAL	74.65

Total de costos indirectos

TABLA 5.11. Total de costos indirectos

Rubro	Total \$
Material y suministros indirectos	22.67
Mano de obra indirecta	0.08
Mantenimiento	74.65
TOTAL	97.4

Total del presupuesto de egresos

TABLA 5.12. Total del presupuesto egresos

COSTOS	Total \$
Directos	261.7
Indirectos	97.4
Total	359.1

5.5. RENTABILIDAD

Antes de hacer el análisis de rentabilidad, es necesario hacer un flujo de caja descontado para 5 años que viene a ser un balance de dinero durante el curso del proyecto y que además toma en cuenta el valor de este conforme el tiempo. Con estos resultados se procederá a calcular la tasa interna de retorno (TIR) que es uno de los indicadores de rentabilidad más utilizados así como el VAN

5.5.1 Estados financieros

Son aquellos instrumentos de análisis, en forma de cuadros sistemáticos, que determinan aspectos fundamentales de la situación financiera y económica de la empresa y muestran cual ha sido el movimiento de los recursos disponibles en la misma.

Gastos financieros

Los intereses correspondientes a los préstamos adquiridos varían de un año a otro. Los intereses fueron calculados con las tablas de amortización cada 12 meses correspondientes a un año. Por lo que se obtiene:

TABLA 5.13. Gastos financieros

Detalle	Interés	Total
Año 1	3229.35	3229.35
Año 2	3025.16	3025.16
Año 3	2469.83	2469.83
Año 4	1684.05	1684.05
Año 5	552.83	552.83

5.5.2 Flujo de caja descontado sin apalancamiento

Antes de desarrollar el flujo de caja, es necesario precisar que en la práctica industrial los ingresos anuales no son constantes. Esto se debe a que generalmente cuando se inicia la operación de una planta se tiene problemas de ajuste tecnológico que impiden el desarrollo de la capacidad plena de producción. Otra dificultad para empezar la producción a plena capacidad es el posicionamiento en el mercado. Por esto se estima que en el primer año del proyecto la capacidad de producción podría estar alrededor del 50% de la capacidad de diseño y paulatinamente se irá incrementando hasta alcanzar la capacidad de diseño en el último año del proyecto,

A continuación se muestra el flujo de caja descontado para los 5 primeros años del proyecto utilizando algunos datos calculados anteriormente como el KIF, KW, CTP y otros.

Nota: Los costos están expresados en miles de dólares en base anual

CUADRO 5.1. FLUJO DE CAJA DESCONTADO PARA 5 AÑOS DEL PROYECTO EN DÓLARES

RUBRO		AÑO					
		0	1	2	3	4	5
1	Capital invertido fijo KIF	-5 478.9					
2	Capital de trabajo KW	-4308					
3	Ingreso por ventas		3360	4032	4 838.4	5 806.08	6 967.296
4	Impuesto general a las ventas = 19% de 3		638.4	766.08	919.296	1 103.1552	1 323.7862
5	Costo total de producción incluyendo depreciación		861.6	1033.92	1 240.704	1 488.8448	1 786.6138
6	Beneficios brutos =3-4-5		1 860	2232	2 678.4	3 214.08	3 856.896
7	Impuesto a la renta = 30% de 6		558	669.6	803.52	964.224	1 157.0688
8	Beneficios netos = 6-7		1 302	1 562.4	1 874.88	2 249.856	2699.8272
9	Depreciación		547.89	547.89	547.89	547.89	547.89
10	Recuperación de KW						4308
11	Valor de reventa = 0.15KIF						821.835
12	Flujo de caja anual = 8+9	-5 478.9	1 849.89	2 110.29	2 422.77	2 797.746	3 247.7172

Fuente: Peters – Timmerhause Diseño de plantas industriales

5.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Considerando el quinto año como base debido a que es en este año en el que se piensa recobrar el capital invertido, entonces el TIR se calcula con la siguiente ecuación:

$$KIF(1+i)^5 + KW(1+i)^5 - VR - KW - (B-D)_1(1+i)^4 - (B-D)_2(1+i)^3 - (B-D)_3(1+i)^2 - (B-D)_4(1+i)^5 - (B-D)_5 = 0$$

Donde:

$i = \text{TIR}$

$KIF = \text{capital invertido fijo}$

$KW = \text{capital de trabajo}$

$VR = \text{valor de reventa}$

$(B-D)_n = \text{Beneficio neto + depreciación correspondiente a cada año}$

calculado anteriormente

Reemplazando se tiene

$i = 0.31$

Es decir, el valor de la tasa interna de retorno es de 31 %

TIR: 31% es el valor de rentabilidad del proyecto, indicándonos que es conveniente invertir en el proyecto para obtener mayores ganancias si lo comparamos con los intereses generados en bancos durante los 5 años.

5.5.4 Tiempo de retorno del capital (TR)

Se estima calculando primero el retorno de capital que se calcula tomando como base la suma de los flujos de caja incluyendo la recuperación del capital de trabajo para los 5 años que representan el 100 % y comparando con el flujo de caja para el año 0 (inversión)

Es decir, el flujo de caja para los 5 años incluyendo la recuperación del capital de trabajo es:

$$2\ 326.17 + 2\ 681.826 + 3\ 108.6132 + 3\ 620.7578 + 4\ 235.3314 + (-4308) = 11\ 664.6984$$

Luego, el flujo de caja para el año 0 es la suma de

$$KIF + KW = -5478.9 + -4308 = -9786.9$$

De tal manera que (considerando el valor absoluto):

$$11\ 664.6984 \text{ ----- } 100 \%$$

$$4\ 753.3646 \text{ ----- } R$$

$$R = 100 (293.38) / 719.879$$

$$R = 40.75 \%$$

Siendo R el Retorno de capital

Luego, para calcular el tiempo de retorno del capital:

$$TR = 100 / R$$

$$TR = 100 / 40.75$$

$$TR = 2.45 \text{ años, es decir, 2 años 6 meses aprox.}$$

Esto nos indica que a los 2 años y 6 meses el capital invertido ya se ha recuperado.

5.5.5 Valor actual neto

El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t : representa los flujos de caja en cada periodo t

I_0 : es el valor de desembolso inicial de la inversión

n : es el número de periodos considerado.

k : es el tipo de interés.

Por lo que reemplazando los datos en la fórmula nos da un valor de un

$$VAN = \$3\,694.6$$

Vemos que el VAN del proyecto calculado a la tasa mínima exigida (0.3) es positivo, entonces, dicho proyecto aporta riqueza por encima de la tasa exigida por lo que el proyecto nos ofrece una buena ganancia.

5.6 PUNTO DE EQUILIBRIO (PE)

En función al volumen de producción

Primero se calcula el costo de fabricación (CF) que resulta de dividir el costo total de producción entre el volumen de producción

$$CF = 4838.4 / 604$$

$$CF = 8 \text{ dólares / galón}$$

Luego se calcula el costo de venta (CV) que según el estudio de mercado es 8 dólares / galón.

Entonces, el punto de equilibrio (PE) será:

$$PE = \frac{CTP}{(CV - CF)}$$

$$(25 - 8)$$

$$PE = 4838.4 \text{ (dólares / año)}$$

$$(25 - 8) \text{ dólares / galón}$$

$$PE = 284.611765 \text{ galón / año}$$

Se puede observar que se requiere de 284.61 galón/año para cubrir el costo operacional de la planta propuesta y en el punto 5.4.1 vemos la cantidad que se produciría por año, la cual es de 604 gls/año, por lo que vemos que estamos muy por encima del punto de equilibrio calculado, lo cual nos indica que generará ingresos el proyecto propuesto.

CUADRO 5.2. FLUJO DE CAJA DESCONTADO CON APALANCAMIENTO EN DÓLARES

RUBRO		AÑO					
		0	1	2	3	4	5
1	Capital invertido fijo KIF	-5 478.9					
2	Capital de trabajo KW	-4 308					
3	Gastos Financieros		3 229.35	3 025.16	2 469.83	1 684.05	552.83
4	Ingreso por ventas		3 360	4032	4 838.4	5 806.08	6 967.296
5	Impuesto general a las ventas = 18% de 3		604.8	725.76	870.912	1 045.0944	1 254.1133
6	Costo total de producción incluyendo depreciación		861.6	1 033.92	1 240.704	1 488.8448	1 786.6138
7	Beneficios brutos =4-5-6-3		-1 335.75	-752.84	256.954	1 588.0908	3 373.739
8	Impuesto a la renta = 27%		- 360.652 5	-203.2668	69.37758	428.78452	910.90952
9	Beneficios netos = 7-8		- 975.097 5	-549.5732	187.5764 2	1 159.3063	2 462.8294
10	Depreciación		547.89	547.89	547.89	547.89	547.89
11	Recuperación de KW						4 308
12	Valor de reventa = 0.15KIF						821.835
13	Flujo de caja anual = 8+9	-5 478.9	-427.2075	-1.6832	735.46642	1 707.1963	3 010.7194

Fuente: Elaboración propia

5.7. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El TIR calculado con la ecuación:

$$KIF(1+i)^5 + KW(1+i)^5 - VR - KW - (B-D)_1(1+i)^4 - (B-D)_2(1+i)^3 - (B-D)_3(1+i)^2 - (B-D)_4(1+i)^5 - (B-D)_5 = 0$$

Nos da un valor de $i = -0.0182$

O un TIR de -1.82%

La tasa interna de retorno para este proyecto incluyendo los intereses generados por apalancamiento nos indica que no es factible pues nos da un TIR negativo. Esto quiere decir que no hay rentabilidad en el lapso de los 5 años.

5.8. VALOR NETO ACTUAL (VAN)

Que representa lo que se ganará o perderá del proyecto y es calculable con la ecuación a continuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Aplicando la ecuación se tiene que el VAN para el proyecto incluido APALANCAMIENTO es de:

$$VAN = \$ -454.51$$

Vemos que el VAN para el proyecto en un lapso de 5 años es negativo, no se observa retorno. El capital invertido generará pérdidas o no aporta riqueza el proyecto al hacerlo por apalancamiento.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

PRIMERA: El impacto ambiental generado por la emisión de aceites vegetales residuales al verterlos a las vías de desagüe de la ciudad, es de gran escala; ya que a través de las teorías estudiadas y de las evaluaciones realizadas, se concluye que 1 litro de aceite vegetal residual contamina 1 000 litros de agua potable lo que equivale al agua que una persona consume en un total de 18 meses, resaltando de esta forma la **IMPORTANCIA** del presente proyecto.

SEGUNDA: La disponibilidad de la Materia Prima en la ciudad de Arequipa (distrito *Paucarpata y José Luis Bustamante y Rivero*) es de 50 litros de aceite vegetal residual por semana, la cual hace posible que el diseño de la planta productora de **BIODIÉSEL** a partir del aceite vegetal residual sea sostenible.

TERCERA: En cuanto a la ingeniería del proyecto para la producción de biodiésel, se propuso el uso de un prototipo orientado verticalmente que permitiría el ahorro de espacio, requiriendo un total de 5m² para los equipos y más las áreas de depósito y oficina será un total de 20m², para una recepción semanal de 200.85 litros por semana de aceite y una producción semanal de 47.6lts de biodiésel.

CUARTA: De acuerdo a los indicadores analizados, se concluye que el diseño de una planta productora de biodiésel a base de aceites vegetales residuales caseros es viable. Pues tanto la ubicación basándonos en el libro de “diseño de plantas industriales” de Vilbrant, encontramos un 74% de lo ideal, siendo lo suficiente para poder empezar el proyecto.

QUINTA: El monto de la inversión total del proyecto asciende a \$ 5 478.00 (cinco mil cuatrocientos setenta y ocho con 00/100 dólares americanos); el que será financiado de forma propia, determinándose que el tamaño óptimo de la planta piloto, será de 20m².

6.2.RECOMENDACIONES

PRIMERA: Es recomendable el impulso de una concientización ambiental, donde todos los ciudadanos seamos partícipes del cuidado de nuestro medio ambiente, destacando la reutilización y/o transformación de los residuos caseros, que no por ser de menor volumen dejan de producir un alto volumen de contaminación.

SEGUNDA: En un futuro, establecer una planta a nivel regional, con los requerimientos necesarios, para poder abastecer a toda la ciudad con la producción de biodiésel y que contrarreste a un nivel mayor la contaminación del agua producto de los aceites vegetales residuales caseros.

TERCERA: Realizar de forma constante un estudio de impacto ambiental en la instalación y operación del proyecto, ya que a pesar que este cuente con las medidas preventivas del caso, dicho estudio reforzará o corregirá las deficiencias que puedan encontrarse. Este tipo de medidas generarían una fortaleza para el desarrollo del mismo que se preocupa en lograr un desarrollo sostenible.

CUARTA: Se sugiere que en un futuro se trabajen con campañas que invoquen a la formalización y la promoción del mercado del biodiésel en Arequipa, para fomentar su producción, consumo y su variedad de propiedades.

Bibliografía

- Biodiésel : Un buen proyecto que Santa Fe ofrece al país. (2000, Agosto 23). *El Litoral*, p. 9.
- Eder Armando Caballero Moreno, J. C. (2010). Aceites reciclados de cocina. In M. P. Chiapas. Chiapas: Concyteg.
- Fe, S. (2000, Agosto 23). Haciendo Biodiésel de Aceite Vegetal. *El Litoral*, p. 9.
- hector Chamorro, A. S. (2006). Propuesta de minimización del impacto. *Impacto Ambiental*, 40-54.
- Juan Manuel Garcia Camus, J. A. (2001). *Biodiésel y Bioetanol*. Lima: Rosa.
- L.C, M. (248). *Technical aspects of biodiésel production by transesterification*. Barcelona: Renewable and sustainable.
- Lishawa, A. K. (2000, Setiembre 16). Haciendo Aceite. *EL Litoral*, p. 2.
- Ma, F. H. (1999). *Biodiésel production: a review*. Bioresource Technology.
- Noriega, A. (1998, Agosto 2). Metropolitana del medio Ambiente. *Guia de Buenas*, pp. 4-6.
- Oscar Espinoza, V. R. (2004). *Gestion Ambiental de Aceites Usados*. Argentina : Documento Sistematizacion.
- Rosa, J. A. (2000, Agosto 5). Algo mas que un proyecto. *El litoral*, pp. 4-8.
- Ruiz, G. A. (2010). Texto de Discusión N°2. In D. M..
- Sagar, M. (1998). Technical aspects of biodiesel production by transesterification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 248-268.
- Sallo, J. L. (2002). Medio Ambiental. *Liberal*, 34-35.
- Stratta, J. (2001). Biocombustibles. *Capacita* (p. 6). Bogota: Agronomo.

ANEXO 1
UNIVERSIDAD PRIVADA “ALAS PERUANAS”
FILIAL AREQUIPA

INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

CUESTIONARIO

Instrucciones: Señor(a) del distrito de Paucarpata y/o José Luis Bustamante y Rivero – Arequipa solicito de Usted los datos que se requiere para el presente trabajo de investigación sobre **“Diseño del Proceso de Producción del Biodiésel a partir de la emisión de Aceites Vegetales Residuales de uso doméstico”**; muy agradecido por su aporte.

1.- ¿Son de su interés, los temas referidos al *Cuidado del Medio Ambiente*?

- a) Sí
- b) No
- c) Me es irrelevante

2.- ¿Hace uso de Aceite Vegetal para cocinar sus alimentos?

- a) Sí
- b) No

3.- ¿Cuánto aceite vegetal adquiere aproximadamente de forma mensual?

- a) 0 lt a 1 lt
- b) 1 lt a 5 lt
- c) 5 lt a más

4.- ¿Genera Ud. residuos de aceite vegetal, después de cocinar (freír)?

- a) Sí
- b) No

5.- ¿Qué hace Ud. con el aceite vegetal residual?

- a) Lo reutilizo en otros alimentos hasta consumirlo por completo
- b) Lo desecho a las vías del desagüe
- c) Lo acumulo en una botella de plástico para echarlo a la basura

6.- ¿Sabía Ud. que el aceite vegetal residual doméstico es considerado como un peligroso agente contaminante del agua?

- a) Sí
- b) No

7.- ¿Conoce Ud. los programas de gestión de Residuos Domésticos? (Reciclaje de papel, plástico, otros)

- a) Sí
- b) No
- c) No son de mi interés

8.- Marque, ¿Qué programas de gestión de residuos domésticos conoce Ud.?

- a) Recolección de botellas de plástico
- b) Reciclado de Papel y/o cartones
- c) Recolección de botellas de vidrio
- d) Aceite residual
- e) Otros

9.- ¿Participaría Ud. de algún programa de control de aceite residual doméstico para evitar la contaminación del agua?

- a) Sí
- b) No

10.- ¿Podría Ud. almacenar sus residuos de aceite vegetal y entregarlos a un encargado, para un adecuado sistema de control?

- a) Sí
- b) No

ANEXO 2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

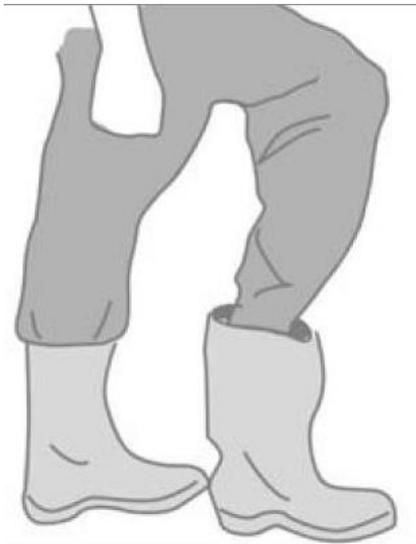
GUANTES



MASCARILLA



BOTAS DE SEGURIDAD



DELANTAL PLÁSTICO



GAFAS DE SEGURIDAD



ANEXO 3 – DECRETO SUPREMO N° 021-2007-EM

DECRETO SUPREMO N° 021-2007-EM

Publicado el 20 de Abril de 2007

Modificaciones:

Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 de diciembre de 2008.
Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 de diciembre de 2009.
Decreto Supremo N° 061-2010-EM, publicado el 28 de septiembre de 2010.
Decreto Supremo N° 024-2011-EM, publicado el 13 de mayo de 2011.

Concordancias:

Resolución Ministerial N° 165-2008-MEM-DM, publicada el 10 de abril de 2008, Establecen disposiciones relativas a la calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20.
Resolución Ministerial N° 515-2009-MEM-DM, publicada 08 de diciembre de 2009, Establecen las especificaciones de calidad para el Gasohol.
Resolución OSINERGMIN N° 206-2009-OS-CD, publicada el 19 de noviembre de 2009, Procedimiento de Control de Calidad de los Biocombustibles y sus Mezclas” y modifican Tipificación y Escala de Multas y Sanciones de Hidrocarburos.

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA CONSIDERANDO:

Que, la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, establece el marco general para promover el mercado de los Biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo y disminuir la contaminación ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM, se aprobó el Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, que contiene normas para la comercialización y promoción de los Biocombustibles;

Que, a efectos de cumplir con el objeto de la Ley N° 28054, se ha visto por conveniente aprobar un reglamento específico para la comercialización de Biocombustibles, con la finalidad de establecer los requisitos para su comercialización y distribución, así como hacer referencia a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos;

De conformidad con la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, y en uso de las atribuciones previstas en los numerales 8 y 24 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles

Aprobar el Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles que contiene dos

(2) Títulos, catorce (14) artículos, una (1) Disposición Transitoria y una (1) Disposición Complementaria, que como anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Disposiciones derogatorias

Quedan derogados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo los artículos 3, 4 y 5, el Capítulo I del Título II y las Disposiciones Transitorias del Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles, aprobado mediante Decreto Supremo N° 013-2005-EM.

Derogar las demás normas que se opongan a lo dispuesto en el presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Vigencia

El presente Decreto Supremo entrará en vigencia a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

Artículo 4.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros, el Ministro de Energía y Minas, el Ministro de Economía y Finanzas, el Ministro de la Producción y el Ministro de Agricultura.

Dado en la ciudad de Chiclayo, a los dieciocho días del mes de abril del año dos mil siete.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República
JORGE DEL CASTILLO GÁLVEZ
Presidente del Consejo de Ministros
JUAN VALDIVIA ROMERO
Ministro de Energía y Minas
LUIS CARRANZA UGARTE
Ministro de Economía y Finanzas
RAFAEL REY REY
Ministro de la Producción
JUAN JOSÉ SALAZAR GARCÍA
Ministro de Agricultura

TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto

El presente Reglamento establece los requisitos para la comercialización y distribución de los Biocombustibles, así como lo referente a las normas técnicas de calidad de los mencionados productos.

Artículo 2.- Contenido

Este Reglamento contiene:

Las normas correspondientes a la comercialización y distribución de Biocombustibles puros y sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos tales como las gasolinas y Diésel N° 2, por intermedio de los Distribuidores Mayoristas debidamente autorizados.

Las Normas Técnicas de calidad que se deben cumplir.

Las normas correspondientes para el registro de las mezclas de Biocombustibles con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos ante la Dirección General de Hidrocarburos.

Artículo 3.- Referencias

Cuando en el presente Reglamento se haga referencia a la Ley, se entenderá que se está haciendo referencia a la Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles. Asimismo, cuando se mencione un artículo sin hacer referencia a norma alguna, estará referido al presente Reglamento.

Artículo 4.- Definiciones

En el presente Reglamento se utilizarán los siguientes términos cuya definición se detalla a continuación:

Alcohol Carburante: Es el Etanol Anhidro Desnaturalizado, obtenido de la mezcla del Etanol Anhidro con la Sustancia Desnaturalizante en una proporción volumétrica no inferior a 2% (dos por ciento) ni superior a 3% (tres por ciento) en el caso de ser gasolina motor sin contenido de plomo.

Bases de Mezcla: Son las gasolinas de 97, 95, 90, 84 octanos y otras que se encuentren autorizadas para su comercialización en el país así como el Diésel N° 2, cuyas calidades se establecen en las Normas Técnicas Peruanas correspondientes. Queda prohibido utilizar el Diésel N° 1 para mezclarlo con el Biodiesel B100.

Biocombustibles: Productos químicos que se obtienen a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa y que cumplen con las normas de calidad establecidas por las autoridades competentes para su uso como combustible. Éstos pueden ser sólidos (biomasa), gaseosos (biogás, gas de gasificador u otros tipos de gas manufacturados a partir de residuos, carbón, etc) o líquidos.

Para fines del presente Reglamento entiéndase como Biocombustibles al Alcohol Carburante y al Biodiesel.

Biodiesel: Combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadenas largas derivados de recursos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales, para ser usados en motores de ciclo Diésel.

Para fines del presente Reglamento se entiende como una sustancia oleaginosa obtenida a partir del aceite de palma, higuera, piñón, soya, colza, girasol y otros vegetales oleaginosos, así como grasas animales y aceites comestibles usados.

Diésel BX: Es la mezcla que contiene Diésel N° 2 y Biodiesel B100, donde X representa el porcentaje en base volumétrica de Biodiesel B100 contenido en la mezcla; siendo el diferencial volumétrico el porcentaje de Diésel N° 2.

Biodiesel B100: Biodiesel puro, sin mezcla alguna, que cumple las especificaciones establecidas en las Normas Técnicas Peruanas o, mientras éstas no sean aprobadas, la norma ASTM D 6751-06 en su versión actualizada o las correspondientes normas internacionales.

Etanol: Es el alcohol etílico cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ y se caracteriza por ser un compuesto líquido, incoloro, volátil, inflamable y soluble en agua.

Para los efectos de este Reglamento se entiende como el alcohol obtenido a partir de caña de azúcar, sorgo, maíz, yuca, papa, arroz y otros cultivos agrícolas.

Etanol Anhidro: Tipo de alcohol etílico que se caracteriza por tener como máximo 0,5% (cero coma cinco por ciento) de humedad y por ser compatible con las gasolinas con las cuales se puede mezclar para producir un combustible oxigenado para uso motor.

Gasohol: Es la mezcla que contiene gasolina (de 97, 95, 90, 84 octanos y otras según sea el caso) y Alcohol Carburante.

Sustancia Desnaturalizante: Gasolina natural, componentes de gasolina, gasolina sin plomo u otras sustancias añadidas al Etanol Anhidro, en una concentración volumétrica no inferior a 2% (dos por ciento) ni superior a 3% (tres por ciento) para convertirlo en no potable y evitar que sea destinado a usos diferentes al de componente oxigenante de combustibles para uso motor.

Artículo 5.- Normas Técnicas

Las características técnicas del Alcohol Carburante (Etanol Anhidro Desnaturalizado) y del Biodiesel B100 se establecen en las correspondientes Normas Técnicas Peruanas aprobadas por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI; en tanto éstas no sean aprobadas se aplicarán las normas técnicas internacionales correspondientes, para el Etanol Anhidro Desnaturalizado la ASTM D 4806-06 y para el Biodiesel B100 la ASTM D 6751-06 en sus versiones actualizadas.

Artículo 6.- Ámbito de aplicación, alcances y órganos competentes

El presente Reglamento se aplica a nivel nacional y establece las normas que deben cumplir los productores y comercializadores de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y los comercializadores y distribuidores de Gasohol y Diésel BX.

Los organismos competentes para efectos del presente Reglamento son:

El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Hidrocarburos, es competente para otorgar las autorizaciones a los agentes de la Cadena de Comercialización de Combustibles Líquidos facultados para las mezclas de Alcohol Carburante y Biodiesel B100 con Gasolinas y Diesel N° 2, respectivamente, así como a la comercialización, transporte y consumo de dichas mezclas.¹

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), es el organismo público encargado de la supervisión y fiscalización del cumplimiento del presente Reglamento, en lo que respecta a la comercialización y a la calidad de los Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diésel N° 2; así como de la emisión del Informe Técnico Favorable (ITF) correspondiente a las modificaciones y/o ampliaciones de las instalaciones que sean necesarias efectuar para la comercialización de estos productos. La competencia del OSINERGMIN empieza en las Refinerías y en las Plantas de Abastecimiento, lugares donde se realizarán las mezclas.

La fiscalización de la calidad de los biocombustibles será realizada por el OSINERGMIN en el punto donde las empresas productoras de biocombustibles entregan sus productos.²

El Ministerio de la Producción, es competente para otorgar autorizaciones para la instalación y funcionamiento de las plantas productoras de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100). Dado el caso de proyectos que involucren cultivos, el Ministerio de la Producción coordinará con el Ministerio de Agricultura para establecer el procedimiento de la autorización correspondiente.

El Ministerio de Agricultura es competente para identificar y promover el desarrollo de las áreas disponibles con aptitud agrícola para la producción de Biocombustibles en el país.

TÍTULO II

DE LA COMERCIALIZACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS BIOCMBUSTIBLES Y DE SUS MEZCLAS CON LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS DERIVADOS DE LOS HIDROCARBUROS

Artículo 7.- Porcentaje de la mezcla de Alcohol Carburante con gasolinas

El porcentaje en volumen de Alcohol Carburante en la mezcla gasolina - Alcohol Carburante que podrá comercializarse en el país será de 7,8% (siete coma ocho por ciento) y se le denominará Gasohol, según el grado de octanaje: Gasohol 97 Plus, Gasohol 95 Plus, Gasohol 90 Plus y Gasohol 84 Plus.

Literal modificado por el Artículo 1 del Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 diciembre 2009, cuyo texto rige en la actualidad.

El texto original era el siguiente:

El Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Hidrocarburos, es competente para otorgar los registros y autorizaciones correspondientes a la comercialización de Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diésel N° 2, a través del agente denominado Distribuidor Mayorista, utilizando la cadena de comercialización de combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos.

Literal modificado por el Artículo 1 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto rige en la actualidad.

El texto original era el siguiente:

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), es el organismo público encargado de la supervisión y fiscalización del cumplimiento del presente Reglamento, en lo que respecta a la comercialización, transporte y a la calidad de los Biocombustibles (Alcohol Carburante y Biodiesel B100) y de sus mezclas con gasolinas y Diésel N° 2; así como de la emisión del Informe Técnico Favorable (ITF) correspondiente a las modificaciones y/o ampliaciones de las instalaciones que sean necesarias efectuar para la comercialización de estos productos.

Artículo 8.- Comercialización y cronograma de implementación del Gasohol3

Artículo modificado por Decreto Supremo N° 024-2011-EM, publicado el 13 de mayo de 2011, cuyo texto rige en la actualidad.

El texto original era el siguiente:

Artículo 8.- Comercialización y cronograma de aplicación del Gasohol

A partir de la vigencia de la presente norma el Gasohol podrá ser comercializado en todo el país, en las condiciones establecidas en la presente norma.

A partir del 1 de enero de 2010 el Gasohol será de uso obligatorio en todo el país y reemplazará a todas las gasolinas motor.

Posteriormente modificado por el el Artículo 2 del Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 diciembre 2009, cuyo texto era el siguiente:

Artículo 8.- Comercialización y cronograma de implementación del Gasohol

A partir de la vigencia del presente dispositivo legal el Gasohol podrá ser comercializado en todo el país, en las condiciones establecidas en la presente norma.

En los distritos de Piura y Chiclayo, a partir del 1 de enero de 2010 el Gasohol será de uso obligatorio y, en el resto del país, de acuerdo al siguiente cronograma:

De conformidad con el Artículo 6 del Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 diciembre 2009, para el cumplimiento de lo señalado en el Artículo 8, OSINERGMIN establecerá los procedimientos para la inspección, mantenimiento y limpieza de tanques, otras instalaciones y equipos necesarios para el cumplimiento de la normatividad vigente. En tanto se cumpla con lo señalado en el párrafo anterior, los operadores de las Instalaciones de Hidrocarburos respectivas podrán continuar con la adecuación para el uso de Gasohol con procedimientos que garanticen la seguridad en las operaciones.

De conformidad con el Artículo 8 del Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 diciembre 2009, en tanto se desarrolle el cronograma señalado en el presente Artículo 8, se permitirá el transporte de Gasolinas. Una vez concluida la implementación a nivel nacional del uso del Gasohol, se podrá transportar Gasolinas sólo entre Refinerías, entre Refinerías y Plantas de Abastecimiento y entre Plantas de Abastecimiento, en unidades de transporte dedicadas. Para tales fines, se requiere contar con la inscripción en el Registro de Hidrocarburos que autorice dichas actividades.

Posteriormente el Artículo 8° fue modificado por el Artículo 1° del Decreto Supremo N° 061-2010-EM, publicado el 28 septiembre de 2010, cuyo texto era el siguiente:

A partir de la vigencia del presente dispositivo legal el Gasohol podrá ser comercializado en todo el país, en las condiciones establecidas en la presente norma.

El Gasohol será de uso obligatorio, de acuerdo al siguiente cronograma:

Artículo 9.- Porcentaje de la mezcla de Biodiesel B100 con Diésel N° 2

El porcentaje de Biodiesel B100 en la mezcla de Biodiesel B100 - Diésel N° 2 que se comercialice en el país, será desde 2% (dos por ciento) hasta 20% (veinte por ciento). No está permitida la comercialización de mezclas en proporciones diferentes a las establecidas en la tabla siguiente:

Artículo 10.- Cronograma para la comercialización de Biodiesel B100 y de Diésel BX:

La comercialización del Biodiesel B100 y del Diésel BX será de acuerdo al siguiente cronograma:

A partir de la vigencia del presente Reglamento el Biodiesel B100 y el Diésel B20 podrán ser comercializados por los Distribuidores Mayoristas solamente a los Consumidores Directos autorizados por la Dirección General de Hidrocarburos para adquirir estos productos.

A partir de la vigencia del presente Reglamento se podrá comercializar en todo el país el Diesel B2.

A partir del 1 de enero de 2009 la comercialización de Diesel B2 será obligatoria en todo el país, en reemplazo del Diesel N° 2.

A partir del 1 de enero de 2011 la comercialización de Diesel B5 será obligatoria en todo el país, en reemplazo del Diesel B2.

Artículo 11.- Calidad del Alcohol Carburante, Biodiesel B100, Gasohol y Diesel BX.

Las características técnicas o especificaciones de calidad del Alcohol Carburante y del Biodiesel B100 se establecen en el artículo 5 del presente Reglamento. La calidad de estos productos debe ser garantizada por el productor mediante un certificado de calidad.

Las características técnicas o especificaciones de calidad que deben cumplir el Gasohol y el Diesel BX serán establecidas por el Ministerio de Energía y Minas mediante Resolución Ministerial.

Artículo 12.- Comercialización

Para efectos de las mezclas señaladas en los artículo 7 y 9 de la presente norma, los operadores de Refinerías y los Distribuidores Mayoristas de Combustibles Líquidos con inscripción vigente en el Registro de Hidrocarburos son los únicos autorizados para adquirir Biocombustibles, así como el Diesel N° 2 y Gasolinas.

En los lugares donde se implemente la obligatoriedad del uso del Gasohol, los Distribuidores Mayoristas están prohibidos de vender Gasolinas a Establecimientos de Venta al Público de Combustibles y a Consumidores Directos; sólo podrán vender dicho producto a otros Distribuidores Mayoristas como Base de Mezcla. En las zonas donde aún no se haya implementado el cronograma señalado en el artículo 8 de la presente norma, el Distribuidor Mayorista podrá realizar la venta de Gasolinas a los agentes antes mencionados.

Para efectuar ventas de Biocombustibles a los operadores de Refinerías y Distribuidores Mayoristas, el vendedor de dichos productos deberá registrarlos en la DGH, detallando su clasificación, características y especificaciones de calidad contenidas en la norma técnica correspondiente.

Para el registro del producto deberá presentar la documentación siguiente:

Solicitud de acuerdo a formato, consignando el número de RUC.

Formato de declaración jurada por cada producto.

Especificaciones de calidad del producto adjuntando el certificado de análisis químico realizado por un laboratorio mediante ensayos acreditados para el respectivo producto. La vigencia del certificado de análisis será de un plazo no mayor de treinta (30) días hábiles, contados desde su fecha de expedición.

Plan de producción anual por mes.⁴

⁴ Artículo modificado por el Artículo 3 del Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 diciembre 2009, cuyo texto rige en la actualidad.

El texto original era el siguiente:

Artículo 12.- Comercialización Mayorista

Los Distribuidores Mayoristas con inscripción vigente en la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas son los únicos autorizados para comprar Alcohol Carburante y Biodiesel B100 de los productores para su comercialización y para su mezcla con gasolinas y Diesel N° 2 respectivamente.

Las empresas productoras de Biodiesel B100 y de Alcohol Carburante que deseen comercializar estos productos, sólo podrán venderlos a los Consumidores Directos y a los Distribuidores Mayoristas. Para venderlos a Consumidores Directos deberán registrarse como Distribuidores Mayoristas y no tendrán la obligación de tener un volumen mínimo de ventas ni mantener una existencia media mensual mínima de los productos que comercialicen.

Posteriormente modificado por el Artículo 2 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto era el siguiente:

Artículo 12.- Comercialización Mayorista

Las Refinerías y los Distribuidores Mayoristas con inscripción vigente en el Registro de Hidrocarburos son los únicos autorizados para comprar Alcohol Carburante y Biodiesel B100, de las empresas productoras de Biocombustibles, para su mezcla con gasolina y Diesel N° 2 respectivamente.

Las empresas productoras de Biodiesel B100 que deseen comercializar este producto, sólo podrán venderlo a Refinerías, Distribuidores Mayoristas y Consumidores Directos debidamente registrados en la Dirección General de Hidrocarburos - DGH. Para efectuar ventas de Biodiesel B100, deberán registrar en la DGH el referido producto,

Artículo 13. - Lugares de Mezcla y Expendio

Las mezclas de Alcohol Carburante con gasolinas y de Biodiesel B100 con Diesel N° 2, se podrán realizar en las Refinerías o en las Plantas de Abastecimiento que cuenten con inscripción vigente en el Registro de Hidrocarburos; para lo cual los operadores de estas instalaciones deben efectuar las adecuaciones necesarias que le permitan realizar las operaciones de mezcla en tanque o en línea, según corresponda, debiendo contar con el respectivo Informe Técnico Favorable (ITF), emitido por el OSINERGMIN.

A partir de las fechas indicadas en los artículos 8 y 10 del Reglamento, los Establecimientos de Venta al Público de Combustibles debidamente inscritos en el Registro de Hidrocarburos, no podrán comercializar Diesel 2 y gasolinas debiendo en su reemplazo comercializar Diesel B2 o Diesel B5 y Gasohol.

Los surtidores y/o dispensadores de expendio de Combustibles Líquidos deberán tener en forma perfectamente visible el tipo de producto que éstos despachan. En el caso de comercializar Gasohol, los surtidores y/o dispensadores deberán tener la leyenda "Gasohol 98 Plus", "Gasohol 97 Plus", "Gasohol 95 Plus", "Gasohol 90 Plus" y "Gasohol 84 Plus". Dicho cambio será obligatorio de acuerdo al cronograma de aplicación establecido en el artículo 8 de la presente norma. En el caso de comercializarse Diesel B2 o Diesel B5 deberá indicarse en la leyenda de los surtidores y/o dispensadores "Diesel B2" o "Diesel B5", según corresponda.

Artículo 14.- Obligación de informar al usuario detallando su clasificación, características y especificaciones de calidad contenida en la norma técnica correspondiente. Para el registro del producto deberán presentar la documentación siguiente:

Solicitud de acuerdo a formato, consignando el número de RUC.
Formato de declaración jurada (por cada producto).

Especificaciones de calidad del producto adjuntando el certificado de análisis químico realizado por un laboratorio mediante ensayos acreditados para el respectivo producto. La vigencia del certificado de análisis será de treinta (30) días desde su fecha de expedición.

Plan de producción anual por mes.

5 Artículo modificado por el Artículo 3 del Decreto Supremo N° 064-2008-EM, publicado el 27 diciembre 2008, cuyo texto rige en la actualidad

El texto original era el siguiente:

Artículo 13.- Lugares de Mezcla y Expendio

Las mezclas de Alcohol Carburante con gasolinas y de Biodiesel B100 con Diesel N° 2 se realizarán únicamente en las Plantas de Abastecimiento, que cuenten con inscripción vigente en el Registro de la Dirección General de Hidrocarburos, para lo cual éstas deberán realizar las adecuaciones correspondientes para las operaciones de mezcla en línea, que estarán a cargo del operador de la Planta de Abastecimiento.

Los Grifos y/o Estaciones de Servicios debidamente inscritos en el Registro de Hidrocarburos podrán vender solamente Diesel B2 o Diesel B5 y Gasohol.

Los surtidores de expendio deberán tener en forma perfectamente visible el tipo de producto que éstos despachan. En el caso de comercializar Gasohol, los surtidores deberán tener la leyenda "Gasohol 97Plus, Gasohol 95Plus, Gasohol 90Plus y Gasohol 84Plus". En el caso de comercializarse Diesel B2 o Diesel B5 deberá indicarse en la leyenda de los surtidores "Diesel B2" o "Diesel B5" según corresponda.

6 Párrafo modificado por el Artículo 4 del Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 diciembre 2009, cuyo texto rige en la actualidad

El texto anterior era el siguiente:

Los surtidores o dispensadores de expendio deberán tener en forma perfectamente visible el tipo de producto que éstos despachan. En el caso de comercializar Gasohol, los surtidores o dispensadores deberán tener la leyenda "Gasohol 98 Plus, Gasohol 97 Plus, Gasohol 95 Plus, Gasohol 90 Plus y Gasohol 84 Plus". En el caso de comercializarse Diesel B2 o Diesel B5 deberá indicarse en la leyenda de los surtidores o dispensadores "Diesel B2" o "Diesel B5" según corresponda. En la comercialización de los Biocombustibles y de sus mezclas con combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos, el vendedor previamente deberá informar al usuario, de manera clara y adecuada, sobre las características, la forma de uso, y toda la información relacionada con el producto. La información que proporcione el vendedor deberá ser por escrito.