

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA
DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA
USADO, EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO**

MONICA ELIZABETH BELTRAN CEBALLOS

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA
DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURA
USADO, EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO**

MONICA ELIZABETH BELTRAN CEBALLOS

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de:
Ingeniero Agroindustrial**

Directora:

**OLGA LUCÍA BENAVIDES, I.Q, M.Sc.
Facultad de Ingeniería Agroindustrial**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2012**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1º del Acuerdo N° 324 del 11 de octubre de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Firma Presidente de Tesis

Jurado A.

Jurado B.

San Juan de Pasto, Mayo de 2012

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa agradecimientos por su colaboración en el desarrollo de este trabajo a:

A la Ingeniera Olga Lucía Benavides Calvache, directora y asesora de este proyecto, por su acompañamiento, apoyo, conocimiento y por la confianza brindada durante todo el tiempo de desarrollo de este trabajo que empezó desde la práctica académica.

A los Ingenieros Nelson Arturo y Edgar Romero miembros del jurado por toda su comprensión, colaboración y apreciaciones.

A los Ingenieros Jimmy Hidalgo Estrella, Álvaro Cornejo Perdomo y Omar Goyes Hernández, por toda su ayuda y sus aportes en la parte técnica y financiera de este trabajo. Muchas Gracias.

A la Universidad de Nariño, a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, al personal de planta piloto, al Ingeniero Hugo Gomajoa por su disposición y servicio.

Al Centro de Producción Limpia – SENA por facilitar el acceso a sus instalaciones para el ensayo del combustible obtenido.

A los señores Chamorro – Portilla S.A.S. por apoyar y suministrar los recursos para la realización de la parte experimental de este estudio.

DEDICATORIA

“A Dios la fuente de mi vida, mi motivación y mi razón de ser, por su amor, su cuidado y su ayuda en cada momento, por colocar las personas y las situaciones que bendicen mi camino; porque nunca me has faltado y siempre has estado a mi lado y he podido conocerte en tus detalles, te doy Gracias mi Señor.

A mis padres, Roberto Antonio Beltrán y Ana Luisa Ceballos, por su dedicación y su esfuerzo, por apoyarme, por todo lo que me he podido aprender de ustedes, los admiro y los amo muchísimo.

A mis hermanitos, Roberto Javier y José Luis, los que me alegran la vida, gracias por estar ahí, por ser más que mis hermanos, mis amigos.

A mis familiares, amigos y a todas y cada una de las personas que hacen especial cada momento de mi vida porque sin ustedes nada sería igual, gracias por tantas cosas compartidas durante este tiempo, los llevo en mi corazón.”

Mónica

RESUMEN

Este trabajo se presenta como una alternativa para el reciclaje de aceites de fritura de desecho de la industria alimenticia para la obtención de un combustible para uso en motores diesel. Los aceites usados, no poseen un adecuado tratamiento como residuo, convirtiéndose en un problema de contaminación y salud pública. Así, la obtención de biodiesel como fuente alternativa de energía es una opción que beneficia el medio ambiente al eliminar un residuo contaminante y a la vez proveer un combustible biodegradable. El estudio se realizó en cuatro aspectos, determinando que el proyecto es viable y puede desarrollarse a futuro ya que el estudio de mercado muestra que hay una demanda altísima de biodiesel en el país que ofrece oportunidades de negocio en el sector, puesto que las políticas actuales tienden a aumentar cada vez más el porcentaje de biocombustible en mezcla. En el estudio técnico se optimizó las variables del proceso determinando las mejores condiciones de operación en cuanto a temperatura y cantidad de alcohol, a fin de obtener buenos rendimientos y buena calidad. El producto se caracterizó en el laboratorio de Crudos y Derivados de la Universidad Nacional en Medellín y se comparó con las especificaciones técnicas de las normas nacionales para biocombustibles concluyéndose que se obtuvo un combustible con propiedades fisicoquímicas dentro de los rangos aceptados. El análisis financiero arrojó resultados positivos sobre rentabilidad y viabilidad del proyecto, con un periodo de recuperación de la inversión de dos años y una tasa interna de retorno de 35%. Por último, el impacto ambiental y socio-económico del proyecto de implementación de una planta de producción de biodiesel es positivo, promueve el bienestar social, el empleo y el desarrollo de nuestro departamento.

Palabras claves: Biodiesel, Aceite vegetal usado, Biocombustible.

ABSTRACT

This paper presents an alternative for the recycling of frying oil waste in the food industry to obtain a fuel for use in diesel engines. The waste oils do not possess adequate treatment become a problem of pollution and public health. Thus, the production of biodiesel as an alternative source of energy is an option that benefits the environment by eliminating waste and pollution while providing a biodegradable fuel. The study was conducted in four aspects, determining that the project is viable and can develop in the future because market research shows there is a high demand for biodiesel in the country offering business opportunities in the sector, since the current policies tend to increase more and more the percentage of biofuel blends. In the technical study were optimized process variables determining the best operating conditions for temperature and amount of alcohol, to obtain good yields and good quality. The product was characterized in the laboratory of Raw and Derived from National University in Medellin and compared with the technical specifications of the national standards for biofuel demonstrated that it was a fuel with chemical properties within accepted ranges. The financial analysis showed positive results on profitability and viability of the project with a payback period of investment of two years and an internal rate of return of 39%. Finally, the environmental and socio-economic development of the proposed implementation of a biodiesel production facility is positive, promotes social welfare, employment and development of our department.

Keywords: Biodiesel, Waste VegetableOils, Biofuel.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 OBJETIVO GENERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. JUSTIFICACIÓN.....	24
4. MARCO TEÓRICO	26
4.1 BIOCOMBUSTIBLES.....	26
4.1.1 Antecedentes.....	26
4.2 BIODIESEL.....	27
4.2.1 Obtención de Biodiesel.....	27
4.2.2 Glicerina.....	28
4.2.3 Rutas de Obtención de Biodiesel.....	29
4.2.4 Variables que influyen en la Reacción.....	30
4.3 MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	31
4.3.1 Alcoholes.....	31
4.3.2 Catalizadores.....	32
4.3.3 Materias Primas.....	33
4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITESY GRASAS ALIMENTARIOS.....	34
4.4.1. Triglicéridos.....	34
4.4.2 Monoglicéridos y diglicéridos.....	34
4.4.3 Ácidos grasos libres.....	35
4.4.4 Fosfátidos.....	35
4.4.5 Esteroles.....	35
4.4.6 Alcoholes grasos.....	35
4.4.7 Tocoferoles.....	35
4.4.8 Carotenoides y clorofilas.....	36

4.5 REACCIONES QUÍMICAS DE LAS GRASAS Y ÁCIDOS GRASOS.....	36
4.5.1 Oxidación.....	36
4.5.2 Polimerización.....	37
4.5.3 Hidrogenación.....	37
4.5.4 Halogenación.....	38
4.5.5 Hidrólisis	38
4.5.6 Esterificación.....	39
4.5.7 Interesterificación.....	39
4.5.8 Saponificación.....	40
4.6 EL ACEITE EN LOS PROCESOS DE FRITURA.....	40
4.6.1 Cambios en la grasa y reacciones durante la fritura.....	41
4.7 PRINCIPALES VENTAJAS DEL BIODIESEL.....	44
4.8 PRINCIPALES DESVENTAJAS DEL BIODIESEL.....	44
4.9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	46
4.9.1 Características físicas.....	46
4.9.2 Características químicas.....	46
4.10.2 Agua y sedimentos	48
4.10.3 Viscosidad cinemática.....	49
4.10.4 Cenizas Sulfatadas.....	49
4.10.5 Sulfuros Totales.....	50
4.10.6 Corrosión a Lámina de Cobre.....	50
4.10.7 Número de Cetano.....	50
4.10.8 Punto de Enturbiamiento (Cloud Point).....	50
4.10.9 Carbón Residual.....	51
4.10.10 Numero ácido.....	51
4.10.11 Glicerina Libre y Glicerina Total.....	52
4.10.12 Fósforo.....	52
4.10.13 Punto final de destilación al vacío.....	52
5. MARCO REFERENCIAL.....	54

5.1 DESCRIPCION DE LA CADENA COMERCIAL DE COMBUSTIBLES	
AUTOMOTRICES	54
5.1.1 Refinador.	54
5.1.2 Importador.....	54
5.1.3 Almacenador.....	55
5.1.4 Distribuidor Mayorista.	55
5.1.5 Transportador.	55
5.1.6 Distribuidor Minorista.	55
5.1.7 Gran Consumidor.....	56
5.1.8 Comercializador Industrial.....	56
6. ESTUDIO DE MERCADO.....	57
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO.....	57
6.1.1 Características del Producto	58
6.2 CARACTERISTICAS DEL MERCADO	58
6.2.1 Análisis de la demanda de diesel y biodiesel en Colombia.....	59
6.2.2 Análisis de la oferta de diesel y biodiesel en Colombia.	63
6.2.3 Producción de biodiesel.	64
6.2.4 Análisis comparativo oferta – demanda.	66
6.3 DETERMINACIÓN DEL MERCADO DEL PROYECTO.....	68
6.3.1 Mercado Potencial.	69
6.3.2 Características del Cliente.	69
6.3.3 Estimación del segmento de mercado a cubrir	72
6.4 PRECIO EN EL MERCADO.....	73
6.5 COMERCIALIZACION DEL BODIESEL	76
6.5.1 Sector de Transportes.....	76
6.5.2 Sector de Generación Eléctrica.	77
6.6 ESTRATEGIAS DE MERCADEO	78
6.6.2 Precio.....	79
6.6.3 Distribución.	79
6.6.4 Promoción.....	80

6.6.5 Presupuesto mezcla de mercadeo.....	80
6.7 CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO	81
6.7.1 Materia Prima.....	81
6.7.2 Insumos.	89
6.7.3 Legislación en transporte y comercialización de insumos.....	90
7. ESTUDIO TÉCNICO	91
7.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	91
7.1.1 Macrolocalización.	91
7.1.2 Microlocalización.....	91
7.2 INGENIERÍA DEL PROYECTO	93
7.2.1 Selección del procedimiento.	93
7.2.2 Selección de Insumos.	93
7.2.3 Desarrollo del Producto.....	94
7.2.4. Caracterización del biodiesel.	112
7.2.5. Balance de materia y energía.	117
7.3 TAMAÑO Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN	124
7.3.1 Tamaño de la planta.	124
7.3.2 Capacidad de Producción.	125
7.4. SELECCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPOS	126
7.4.1 Preparación de Metóxido.	126
7.4.2 Reacción.....	126
7.4.3 Separación.....	126
7.4.4 Lavado.	127
7.4.5. Secado.....	128
7.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	131
7.5.1. Recepción y almacenamiento de materia prima e insumos.....	131
7.5.2. Caracterización del Aceite.	132
7.5.3. Formulación.	132
7.5.4. Preparación del metóxido.	132
7.5.5. Transesterificación.....	132

7.5.6. Separación.....	132
7.5.7. Lavado.....	132
7.5.8. Secado.....	132
7.5.9. Filtración.....	133
7.5.10. Pruebas de calidad.....	133
7.5.11. Almacenamiento.....	133
7.6. DISTRIBUCIÓN Y DISEÑO DE PLANTA.....	133
7.6.1. Distribución en Planta.....	133
7.6.2. Tipo de distribución en planta.....	134
8. ESTUDIO ADMINISTRATIVO - ORGANIZACIONAL.....	136
8.1. TIPO DE ORGANIZACIÓN LEGAL.....	136
8.2. ASPECTOS GENERALES.....	137
8.3. CULTURA ORGANIZACIONAL.....	137
8.3.1. Objetivo empresarial.....	137
8.3.2. Misión.....	137
8.3.3. Visión.....	138
8.3.4. Principios Corporativos.....	138
8.3.5. Valores Corporativos.....	138
8.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	138
8.4.1. Descripción de áreas.....	140
8.4.2. Descripción de Funciones.....	141
8.4.3. Marco Legal.....	143
8.4.4. Normatividad.....	143
9. ESTUDIO FINANCIERO.....	145
9.1. INVERSIONES.....	145
9.1.1. Inversión fija.....	145
9.2. COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	148
9.2.1. Costos Directos.....	148
9.2.3. Costos Operacionales.....	151
9.3. CAPITAL DE TRABAJO.....	152

9.4. INVERSION TOTAL DEL PROYECTO.....	153
9.5. FINANCIACIÓN DEL PROYECTO	153
9.6. INGRESOS OPERACIONALES	153
9.7. PUNTO DE EQUILIBRIO	154
9.8. EVALUACIÓN FINANCIERA	155
9.8.1. Balance General	156
9.8.2. Estado de Resultados.....	157
9.8.4. Criterios de decisión.	160
10. ANÁLISIS DE IMPACTOS	162
10.1 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS.....	162
10.2 FACTORES ABIÓTICOS.....	164
10.2.1 Agua.....	164
10.2.2 Suelo.....	164
10.2.3 Calidad del Aire.....	164
10.3 FACTORES BIÓTICOS	165
10.3.1 Fauna y flora.	165
10.3.2 Visibilidad.....	165
10.3.3 Paisaje.	165
10.4 FACTORES SOCIOECONÓMICOS	165
10.4.1 Social.	165
10.4.2 Económico.	165
11. CONCLUSIONES	166
12. RECOMENDACIONES	167
BIBLIOGRAFÍA.....	168
ANEXOS	172

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización de las plantas de producción de biodiesel en Colombia	66
Figura 2. Cadena de distribución para el sector de transportes.....	76
Figura 3. Cadena de distribución de biodiesel para el sector de transporte	77
Figura 4. Cadena de distribución para el sector de generación eléctrica.....	77
Figura 5. Logo de la empresa	79
Figura 6. Preparación del Metóxido de Sodio	96
Figura 7. Reacción de Transesterificación	96
Figura 8. Separación por decantación	97
Figura 9. Lavado con agua a 70°C	97
Figura 10. Secado de biodiesel.....	98
Figura 11. Filtración a vacío.....	98
Figura 12. Formación de Gel	100
Figura 13. Resultados ensayos con agitación y temperatura	101
Figura 14. Evaluación de diferentes temperaturas sin agitación del sistema.....	102
Figura 15. Biodiesel y glicerina	104
Figura 16. Balance de materia para la obtención de biodiesel	118
Figura 17. Motor Lister ubicado en la planta de ganadería Centro Lope SENA ..	123
Figura 18. Adición de biodiesel y ausencia de humo negro en el escape del motor.....	124
Figura 19. Plano de la Planta Física	135
Figura 20. Organigrama de la empresa	140

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Propiedades del glicerol	29
Cuadro 2. Ventajas y desventajas del Biodiesel frente a otros combustibles	45
Cuadro 3. Requisitos de calidad del biodiesel para mezcla con combustibles diesel	47
Cuadro 4. Demanda proyectada	62
Cuadro 5. Plantas de Producción de Biodiesel	65
Cuadro 6. Plantas en Operación en Colombia.....	65
Cuadro 7. Balance Oferta Demanda de los principales combustibles en Colombia.....	67
Cuadro 8. Cantidad de Biodiesel adquirido.....	72
Cuadro.9 Precio piso (\$ / GALÓN) 6957,83.....	74
Cuadro.10 Indicador de precio paridad de importación mercado de Colombia	74
Mínimo entre	74
Cuadro.11 Tasa Representativa del Mercado (TRM)	75
Cuadro 12. Presupuesto mezcla de mercadeo	81
Cuadro 13. Población para levantamiento de encuestas.....	82
Cuadro 14. Muestra de la población a encuestar.....	83
Cuadro 15. Corregimiento Poblado de Catambuco	92
Cuadro 16. Datos físicos del metanol	94
Cuadro 17. Características fisicoquímicas del Aceite	98
Cuadro 18. Cantidades de Alcohol	100
Cuadro 19. Diseño Factorial 2 ³	101
Cuadro 20. Condiciones experimentales constantes.....	103
Cuadro 21. Niveles de Factores Experimentales	104
Cuadro 22. Especificaciones de Biodiesel para Densidad y Valor Acido	106
Cuadro 23. Resultados para Rendimiento, Densidad e Índice de Acidez.....	106
Cuadro 24. Análisis de Varianza para Porcentaje de Rendimiento.....	108

Cuadro 25. Análisis de Varianza para Densidad.....	110
Cuadro 26. Análisis de Varianza para Índice de Acidez	111
Cuadro 27. Propiedades físico-químicas del biodiesel	113
Cuadro 28. Maquinaria y Equipos.....	129
Cuadro 29. Diagrama de Flujo del Proceso	131
Cuadro 30. Cantidades de Obra*	145
Cuadro 31. Equipos y maquinaria*	146
Cuadro 32. Inversión utensilios.....	147
Cuadro 33. Inversión en muebles y equipos de oficina.....	147
Cuadro 34. Costos Pre-Operacionales	148
Cuadro 35. Activos Fijos	148
Cuadro 36. Costo unitario de materia prima e insumos	149
Cuadro 37. Costos de Transporte.....	150
Cuadro 35. Otros costos de fabricación	150
Cuadro 38. Gastos Administrativos.....	150
Cuadro 39. Costos de transporte y ventas.....	151
Cuadro 40. Depreciación mensual de equipos	151
Cuadro 41. Costos operacionales mensuales	152
Cuadro 42. Capital de trabajo	152
Cuadro 43. Inversión Total del Proyecto	153
Cuadro 44. Ingresos por actividad económica en la empresa	154
Cuadro 45. Variables para el cálculo del Punto de Equilibrio	154
Cuadro 46. Balance General.....	156
Cuadro 47. Estado de Resultados	157
Cuadro 48 . Flujo de Fondos de Caja.	158
Cuadro 49. Criterios de Decisión	160
Cuadro 50. Criterios de Evaluación de Impactos	162
Cuadro 51. Matriz de Evaluación de Impactos	163
Cuadro 52. Resultados de la evaluación de impactos	164

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 1. Consumo de Combustibles 1990 – 2009 (Barriles por Día Calendario)	59
Gráfica 2. Usos del diesel (ACPM) en Colombia	60
Gráfica 3. Consumo de biocombustibles en Colombia	61
Gráfica 4. Producción de derivados de petróleo 1990 – 2009	64
Gráfica 5. Llamadas telefónicas por lugar.....	64
Gráfica 6. Disposición del aceite.....	84
Gráfica 7. Tiempo de uso del aceite	85
Gráfica 8. Tipo de alimentos freídos en el aceite	86
Gráfica 9. Destino del aceite usado	87
Gráfica 10. Disposición a vender el aceite.....	88
Gráfica 11. Cantidad mensual disponible	89
Gráfica 12. Diagrama de Pareto para Rendimiento (%).....	108
Gráfica 13. Gráfico de efectos principales para Rendimiento	109
Gráfica 14. Superficie de Respuesta Estimada.....	109
Gráfica 15. Diagrama de Pareto estandarizado para Densidad.....	110
Gráfica 16. Diagrama de Pareto estandarizado para Índice de Acidez.....	112

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A.....	173
ANEXO B.....	174
ANEXO C.....	179
ANEXO D.....	181

INTRODUCCIÓN

La utilización de los biocombustibles líquidos es tan antigua como la de los mismos combustibles de origen fósil y los motores de combustión interna. Las crisis energéticas que sacudieron el siglo XX, y la preocupación mundial por la conservación del medio ambiente, fueron el motor para incentivar la búsqueda de nuevas fuentes energéticas como el etanol y el biodiesel. La historia del uso de biocombustibles para motores se remonta al siglo XIX y su línea cronológica desde entonces hasta la actualidad, describe y se vincula con una serie de acontecimientos importantes en el campo de la ingeniería automotriz, la agroindustria, la ecología y la industria energética.

En Colombia, la producción de biocombustibles se ha desarrollado debido a una serie de incentivos legales, mediante la implementación de leyes que establecen el uso de bioetanol y biodiesel en mezclas con los combustibles de origen fósil, como una estrategia para frenar la dependencia hacia el petróleo y aprovechar los beneficios ambientales que el uso de estos combustibles proporciona. El país empezó a producir etanol (alcohol carburante) a partir de caña de azúcar en octubre de 2005, mientras que la producción industrial de biodiesel inició en enero de 2008 y se optó por la utilización de aceite de palma como materia prima.

Para promover la producción de biocombustibles en el país, el Ministerio de Agricultura ha puesto a disposición de los inversionistas instrumentos financieros para el desarrollo de nuevos proyectos de cultivo y transformación de biocombustibles, así como también, ha priorizado la inversión en investigaciones que permitan mejorar los rendimientos de las diferentes biomásas para su conversión en biocombustibles.

Dados los beneficios que proporciona el uso de biocombustibles para el medio ambiente y los privilegios legales de que disponen las iniciativas productivas en este campo, la producción y procesamiento del bioetanol y del biodiesel representan una gran oportunidad de negocio tanto para el sector agroindustrial como para el resto del país.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años la demanda energética a nivel mundial ha ido en aumento. Este suceso tiene fácil explicación debido a la relación directa entre el uso de energéticos y el crecimiento y desarrollo de las naciones, especialmente en el área de transporte automotor. Esto ha ocasionado un incremento en el mercado de las energías primarias, en el cual los combustibles de origen fósil tienen la mayor participación, en particular la gasolina y el diesel, productos que ocasionan evidentes impactos ambientales.

Por otra parte, muchos países requieren cantidades de combustible superiores a su capacidad de autosuficiencia lo cual ha aumentado su dependencia a los países productores de petróleo, especialmente los de Medio Oriente. En nuestro país para el caso del diesel la producción de las refinerías es deficitaria, de manera que actualmente se importa de 4 a 8 KBD (Miles de barriles diarios) para satisfacer el consumo interno.¹

Para frenar dicha dependencia y mitigar el impacto ambiental ocasionado por los combustibles fósiles, se está profundizando la investigación en el desarrollo de biocombustibles a partir de diferentes materias primas, recurriendo principalmente a cultivos de tardío rendimiento tales como la palma africana, el cacao y algunas oleaginosas y frutales, lo cual ha retardado la implementación de los programas de producción por lo menos en 5 años.

Por ello es necesario investigar la utilización de materias primas diferentes, de mayor disponibilidad y que no amenacen el abastecimiento alimentario, por ejemplo los materiales o sustancias agroindustriales obtenidos como producto secundario en un proceso de producción industrial, de transformación o de consumo.

Las plantas transformadoras de alimentos que involucran procesos de fritura en su actividad generan grandes volúmenes de aceite vegetal usado (AVU). Por lo general, los aceites y grasas comestibles resultantes de la operación constituyen un elemento al cual la empresa productora no le encuentra utilidad y por lo tanto es gestionado como residuo. Hasta hace poco, dicho residuo era empleado en la fabricación de alimento para animales, sin embargo, debido a los posibles vínculos encontrados entre esta práctica y algunas enfermedades animales como la Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB), conocida como enfermedad de las vacas locas, el uso de residuos y grasas comestibles para alimentación animal se ha prohibido en muchos países.

¹CONTRALORIA GENERAL DE LA NACION, Sector minas y energía. Informe: Bioetanol y Biodiesel: Los combustibles ecológicos en Colombia. 2005

En Colombia, no existe a la fecha ningún sistema ni regulación para lo que, hoy por hoy, es el desecho doméstico más contaminante: el aceite de fritura usado, siendo los generadores de los mismos quienes disponen de ellos a su criterio. Cuando los aceites de fritura usados se eliminan por los desagües forman gruesas capas dentro de las líneas de alcantarillado que causan obstrucciones en las redes y ello trae como consecuencia desbordamientos de las aguas negras, malos olores, atracción de roedores y bacterias y contaminación de las aguas.²

Por tanto, es necesario dar solución a los problemas en la disposición final de estas sustancias y por ende, buscar nuevas alternativas para su reciclaje o eliminación.

² BOGOTÁ D.C. ALCALDIA MUNICIPAL. Proyecto de acuerdo N°. 329 de 2009. [en línea]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37110>

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad de la implementación de una planta de producción de biodiesel a partir de aceite de fritura usado, en la ciudad de San Juan de Pasto, mediante el análisis de mercado, técnico y financiero, así como de los impactos en el entorno social y ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar un estudio de mercado que permita obtener y analizar información referente a la demanda, oferta, especificaciones técnicas, comercialización del producto, entre otros.
- Desarrollar un estudio técnico - administrativo que permita determinar el tamaño, localización, organización e ingeniería del proyecto, que aportara información valiosa para la decisión final de invertir o no en el mismo.
- Determinar la factibilidad financiera mediante un estudio que comprende la inversión, proyección de ingresos y gastos y la evaluación de las fuentes de financiamiento que pueden obtenerse para el proyecto.
- Analizar los impactos que pueda ocasionar la ejecución del proyecto dentro de su entorno, tanto en lo social como en lo ambiental.

3. JUSTIFICACIÓN

La situación actual requiere la búsqueda de alternativas para dar solución a los problemas de contaminación derivados de la industrialización de los recursos naturales, así como la optimización de los procesos productivos aprovechando los productos secundarios para dar origen a otros de mayor utilidad. Es prioritario el desarrollo de proyectos que permitan la utilización de residuos agroindustriales como materia prima en el desarrollo de energías renovables, ecológicas y biodegradables, dado que la preocupación ambiental y el crecimiento en la demanda de energía es cada vez mayor.

Se ha incorporado en la política energética actual el desarrollo de energías alternativas donde los biocombustibles son un punto esencial. Para ello se están buscando nuevas fuentes de biomasa de cuya transformación pueda obtenerse combustibles limpios, renovables y ecológicos a través de procesos ambiental, social y económicamente sostenibles.

En este sentido, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha priorizado la inversión en proyectos de investigación en el campo de los biocombustibles, con el objeto de mejorar la productividad de la producción actual y además, evaluar la eficiencia de diferentes materias primas alternativas. En virtud de la enorme polémica a nivel mundial en relación al posible desabastecimiento de alimentos derivado de la producción masiva de biocombustibles, se están investigando otras fuentes, con mayor énfasis en biomasa residual de procesos industriales.

Dentro de este contexto, el aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata en el proceso y con su utilización se evitan los costes de su tratamiento como residuo. De este modo, posee la ventaja de que además de producirse el biocombustible se elimina un residuo contaminante. Estudios sobre el tema muestran que es posible obtener altos porcentajes de conversión de aceite usado en biodiesel, con un rendimiento superior al 90% a través de una reacción química evaluada a nivel de laboratorio.

Otra ventaja frente a otras materias primas es el beneficio que ofrece al sector agrario, puesto que no genera una competencia por el uso de los recursos agropecuarios que ponga en riesgo la seguridad alimentaria. La FAO advierte que la fabricación de combustible de origen vegetal puede cambiar la demanda, el comercio exterior, la asignación de insumos productivos y finalmente un aumento en los precios de los cultivos tradicionales, lo que pondría en riesgo el acceso de los sectores más pobres a los alimentos.

Desde el punto de vista ambiental, uno de los principales beneficios del biodiesel es que prácticamente no contiene azufre y que, debido a la presencia de oxígeno

en su composición química, su combustión es más completa, reduciendo la emisión de partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados, entre otros contaminantes.

El uso del biodiesel como aditivo para el combustible diesel convencional permitiría contribuir a mitigar los problemas ambientales ocasionados tanto por el uso de combustibles fósiles como por la disposición final de los aceites de fritura usados, a la vez que beneficia el sector energético. Así mismo, en el caso de establecerse como ley el uso de mezcla de biodiesel al 5%, este biocombustible alcanzaría una alta participación en el mercado nacional, pues como se mencionó anteriormente la demanda supera ampliamente la oferta en el país.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 BIOCOMBUSTIBLES

Con este término se hace referencia a todos los combustibles producidos a partir de biomasa, como las plantas herbáceas y leñosas, residuos agrícolas, forestales y desechos industriales como los desperdicios de la industria alimenticia.

Los biocombustibles líquidos son alcoholes, éteres, esterres y otros compuestos orgánicos producto de la transformación química de diferentes materias como glucosa, almidón, aceites y otras sustancias obtenidas de las especies vegetales y animales.

Entre los biocombustibles se destacan el bioetanol, biodiesel y biometanol, de los cuales los más desarrollados y empleados son el bioetanol y el biodiesel.

4.1.1 Antecedentes. El uso de aceites vegetales como combustibles se remonta al año de 1900, siendo Rudolph Diesel, quien lo utilizara por primera vez en su motor de ignición - compresión y quien predijera el uso futuro de biocombustibles.

Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero fue hasta el año de 1970, que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía en el momento, y al elevado costo del petróleo. Las primeras pruebas técnicas con biodiesel se llevaron a cabo en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de RME (RapeseedMethyl Ester - metiléster aceite de semilla de colza).

En el inicio de los años 90s, el proceso de industrialización del biodiesel fue iniciado en Europa. Por tanto, el principal mercado productor y consumidor de biodiesel en gran escala es la Unión Europea, que produce anualmente más de 7 millones de toneladas de biodiesel, cerca de 40 unidades de producción. Eso corresponde a un 64% de la producción mundial.³

En 2007, hace apenas cuatro años, Argentina exportaba por primera vez un producto novedoso: el biodiesel. Según la Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrógeno (AABH) Argentina exporta más biodiesel que los primeros cuatro productores mundiales: Alemania, Francia, Brasil y Estados Unidos. Brasil, que también mezcla su gasoil con biodiesel en un 4%, tiene gran potencial para convertirse en un productor líder a escala mundial, ya

³ MACHADO, Cristina M. Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). 2010.

aparece como el productor principal en América Latina gracias a que hasta ahora es el único país capaz de cubrir la demanda de semillas oleaginosas. En tanto, Estados Unidos produce y utiliza más bien etanol, otro biocombustible hecho a base de caña de azúcar o maíz, en lugar de biodiesel.⁴

4.2 BIODIESEL

La Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) define al biodiesel como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de insumos grasos renovables, como los aceites vegetales o grasas animales. El término bio hace referencia a su naturaleza renovable y biológica en contraste con el combustible diesel tradicional derivado del petróleo; mientras que diesel se refiere a su uso en motores de este tipo.

En general, el biodiesel es un tipo de combustible de origen orgánico con características similares al del diesel derivado de petróleo, que se puede obtener a partir de diversos aceites vegetales como el aceite de palma, soya, girasol, maní entre muchos otros, grasas animales o a partir de aceite residual de frituras.

El biodiesel puede ser utilizado como combustible puro, designado como B100 o mezclado con el combustible diesel, designado como BXX, donde XX representa el porcentaje de biodiesel en la mezcla. La proporción más frecuente es B20, que representa un 20% de biodiesel y un 80% de diesel. A partir de enero de 2012 se implementó la mezcla de B10 en todo el territorio colombiano.

4.2.1 Obtención de Biodiesel. La obtención del biodiesel se basa en la reacción con metanol o etanol (transesterificación) proceso que combina las moléculas de triglicéridos presentes en aceites vegetales, grasas animales y/o aceites de algas con alcohol en presencia de un catalizador para producir ésteres.

De esta manera se consigue que las moléculas grandes y ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono se transformen en otras de cadena lineal, pequeñas, con menor viscosidad y porcentaje de carbono y como ya se ha dicho, de características físico-químicas y energéticas más similares a las del combustible de automoción.

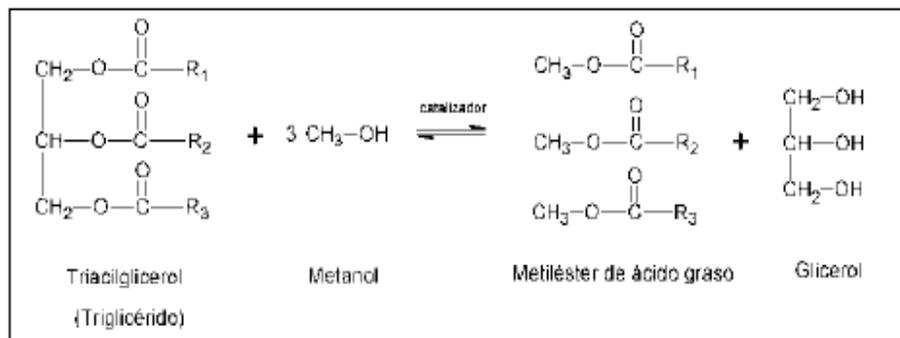
“El proceso químico es relativamente sencillo, sin embargo para producir biodiesel de calidad deben optimizarse las variables del proceso, tales como el exceso de

⁴SMINK, Verónica. El biodiesel despegó en Argentina. BBC Mundo. Publicado 24 de febrero de 2010 [en línea]. Disponible en: http://www.bbc.co.uk/mundo/america_latina/2010/02/100223_0130_biodiesel_economia_argentina_jaw.shtml

metanol, la catálisis del mismo, desactivación del catalizador, agitación, temperatura y en general, todas las variables del proceso”⁵

La reacción de transesterificación consiste en el desplazamiento de un alcohol de un éster por otro, es un proceso similar a la hidrólisis, excepto que el alcohol es usado en vez de agua, reaccionando en la metanolisis 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 metílico⁶.

La siguiente fórmula muestra la reacción que transforma las moléculas de triglicéridos, grandes y ramificados, en moléculas de esteres alquílicos, lineales, no ramificadas, de menor tamaño y más similares al diesel.



Químicamente el mecanismo de conversión consiste en tres reacciones consecutivas reversibles, el triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerol. En cada reacción se libera un mol de éster.

4.2.2 Glicerina. La glicerina o glicerol es un coproducto del proceso de transesterificación, que tiene un amplio uso en la industria alimenticia, cosmética, farmacéutica, entre otras aplicaciones. A continuación se presentan algunas propiedades físicas del glicerol puro.

⁵ FANGRUI, Ma. Biodiesel Production: A review. BioresourceTechnologyVol 70. 1999, p.8

⁶MEHER L.C. et al. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review.Renewable and Sustainable Energy Reviews 10: 248-268

Cuadro 1. Propiedades del glicerol

DATOS FISICOS DEL GLICEROL	
Apariencia	Líquido incoloro viscoso
Olor	Sin olor
Punto de fusión (°K)	290,95
Punto de ebullición (°K)	563,15
Presión de vapor (pa)	0,026
Densidad de vapor (aire=1)	3,17
Gravedad específica	1,261
Solubilidad en agua	Soluble
Viscosidad a 298,15 °K (P)	9,64
Índice de refracción a 298,15 °K	1,4758
Tasa de evaporación (acetato de butilo =1)	Nula
%de volátiles en volumen a 298,15 °K	0
pH	Ligeramente básico
Calor de combustión (KJ/Kg)	-18,05
Calor de vaporización (KJ/Kg)	670

Fuente: modificado de "Glycerine data shet en [www. ull.chemistry.uakron.edu/edr](http://www.ull.chemistry.uakron.edu/edr)"

4.2.3 Rutas de Obtención de Biodiesel. El proceso de obtención de biodiesel ha sido objeto de investigación durante muchos años aprovechando diversidad de materias primas. Como resultado se han encontrado diferentes rutas para efectuar la reacción de transesterificación del aceite variando la cantidad y el tipo de alcohol y catalizador, siendo a nivel industrial básicamente tres las más conocidas y utilizadas. Estas son:

- Transesterificación catalítica directa con alcohol en medio ácido.
- Transesterificación catalítica con alcohol en medio básico.
- Transesterificación en dos etapas: Esterificación de ácidos grasos con alcohol en medio ácido y luego transesterificación con catálisis ácida.

La mayor parte del biodiesel producido a nivel mundial se obtiene por alcoholólisis del aceite en medio básico, debido a su conveniencia técnica y económica. Este será el método con el cual se desarrollará ese trabajo. Entre las ventajas de este método tenemos:

- Condiciones de presión y temperatura relativamente bajas.
- Obtención del producto en una sola etapa y menor tiempo de reacción.
- Rendimientos de conversión por encima del 90% con muy poca incidencia de reacciones secundarias.
- Menor peligrosidad y corrosión química de los reactivos empleados.

La desventaja de este mecanismo de producción es que requiere de la ausencia total de agua, puesto que ésta induce una hidrólisis en el reactor con la consecuente formación de jabones a partir del catalizador y de ácidos grasos libres o aceite, además de pérdidas de éster por solubilidad en las aguas de lavado utilizadas en la purificación del biodiesel.

4.2.4 Variables que influyen en la Reacción. Entre las variables de mayor influencia en el proceso de obtención de biodiesel tenemos⁷:

- **Pureza y Calidad de los reactivos:** LA calidad del producto dependerá en gran parte de la calidad de la materia prima de la que se obtuvo, por lo tanto el aceite empleado debe tener características apropiadas, bajo contenido de ácidos grasos, gomas y material insaponificable, además debe estar exento de material sólido libre y en suspensión.

Es de especial importancia que el aceite y las sustancias químicas empleadas sean anhidros, ya que el agua favorece la formación de jabones, dificultando la purificación del biodiesel.

- **Relación molar alcohol/aceite:** estequiométricamente se requieren tres moles de alcohol y un mol de triglicérido para obtener tres moles de ésteres alquílicos de ácidos grasos y un mol de glicerol, pero se debe utilizar un exceso de alcohol para desplazar el equilibrio hacia la formación de alquilésteres.

La relación molar para el aceite crudo de palma se ha determinado en 6:1 en varias investigaciones, sin embargo, la relación molar óptima se debe determinar experimentalmente, ya que depende del tipo y calidad del aceite empleado como materia prima.

- **Tipo de alcohol:** el alcohol tiene un papel importante en la transferencia de masa, en el caso de la metanólisis por ejemplo, el metanol no es soluble en los triglicéridos ni los ésteres metílicos en la glicerina, por lo que durante los primeros minutos de reacción se observa un sistema formado por dos fases que se transforma en una fase homogénea al formarse los ésteres metílicos, pero vuelven a aparecer las dos fases tan pronto se forman cantidades considerables de glicerina.

Tipo y cantidad de catalizador. “El uso de catalizador mejora la reacción, la proporción y el rendimiento. Si no se empleara, la temperatura de reacción

⁷ Ibíd.

debería estar por encima de 250 °C⁸. La naturaleza del catalizador es importante porque determina los límites de composición con respecto a la materia prima y la cantidad que se emplee, además de las condiciones y operaciones posteriores a la reacción.

- **Temperatura y tiempo de reacción:** “La reacción puede ocurrir a diferentes temperaturas dependiendo del aceite que se emplee. A medida que la temperatura aumenta, también lo hace el rendimiento de la reacción, sin embargo después de un determinado tiempo la diferencia entre temperaturas no afecta de manera considerable el rendimiento”⁹. Por lo general la reacción se lleva a cabo cerca al punto de ebullición del alcohol.

Lo mismo ocurre con el tiempo de reacción, a medida que esta crece, se incrementa la conversión de la reacción, dependiendo del catalizador empleado. Benjumea *et al* encontraron que experimentalmente en la transesterificación básica del aceite crudo de palma con metanol, el avance de la reacción es casi nulo para tiempos mayores a 90 minutos.

- **Agitación:** “Es necesario garantizar la agitación para que se dé el mezclado entre las dos fases y se pueda llevar a cabo la reacción, ya que el aceite es inmiscible con el alcohol. Los valores para la velocidad de agitación empleados en diferentes investigaciones oscilan entre 150 y 600 rpm”.¹⁰

4.3 MATERIA PRIMA E INSUMOS

4.3.1 Alcoholes. Los alcoholes empleados pueden ser primarios o secundarios con cadena de 1-8 carbonos. Entre los alcoholes usados en el proceso se encuentran: Metanol, etanol, propanol, butanol y amilalcohol, de los cuales el metanol y el etanol son los más utilizados.

El metanol y el etanol no son miscibles en los triglicéridos a temperatura ambiente y es necesario realizar una agitación mecánica, sin embargo en el transcurso de la reacción se da la formación de emulsiones, las cuales, en el caso de la metanólisis, son fácil y rápidamente disueltas, formando una capa inferior rica en glicerol y una superior rica en ésteres metílicos. En la etanólisis,

⁸BENJUMEA et al. Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de Transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel. *Scientia et Technica* Año X, No 24, Mayo 2004. UTP. ISSN 0122-1701.

⁹MEHER L.C. et al. Op cit.

¹⁰DARNOKO, D. Y M, CHERYAN. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor. *Journal of the American Oil Chemists Society*. V. 77, No. 12, 2000.

las emulsiones son más estables, haciendo que el proceso de separación y purificación sea más complejo.¹¹

Una de las desventajas del metanol es su origen, ya que se obtiene a partir de gas natural, el cual es de origen fósil. Este aspecto no contribuye a las características ambientales y de sostenibilidad del biodiesel.

4.3.2 Catalizadores. “En el proceso se pueden emplear catalizadores homogéneos, heterogéneos y enzimáticos. Los catalizadores homogéneos son solubles en el medio de la reacción, es decir se encuentran en una sola fase, sea líquida o gaseosa; por el contrario en la catálisis heterogénea, existen dos fases y una superficie de contacto”.¹²

Los catalizadores homogéneos pueden ser ácidos o bases fuertes. Dentro de los más utilizados se encuentran los siguientes:

Bases: Hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH), metóxido de sodio (CH₃ONa) y metóxido de potasio (CH₃OK).

Ácidos: Ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido sulfónico (HSO₃) y ácido fosfórico (H₃PO₄).

Esta clase de catalizadores son los de mayor uso industrial, debido a su bajo costo. Entre las ventajas que brindan están, una velocidad de reacción elevada, condiciones moderadas de presión y temperatura y rendimientos elevados dependiendo del aceite y el alcohol empleado. Las desventajas se presentan en cuanto a reacciones secundarias como formación de jabones, por lo cual se necesita una purificación y remoción de las impurezas. Además presentan problemas de corrosión.

Los catalizadores heterogéneos más comunes son: resinas de intercambio aniónico, resinas de intercambio catiónico, óxidos metálicos (MgO, CaO), catalizadores de titanio y de zirconio. La utilización de este tipo de catalizadores simplifica y hace más económico el proceso de purificación, por la fácil separación de los productos, sin embargo una de sus desventajas es el difícil manejo durante el proceso, requieren el control de la temperatura para reacciones muy exotérmicas y altas resistencias mecánicas para el catalizador.

Los catalizadores enzimáticos más utilizados son las lipasas, una de las más conocidas en el proceso de transesterificación en la candida antarctica. Una de las

¹¹MEHER L.C. et al. Op. Cit.

¹²CRESPO, Vicente *et al.* Biodiesel: una alternativa real al gasóleo mineral. Dpto. de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense. [en línea]. Disponible en: http://www.ucm.es/BUCM/compludoc/S/10105/02102064_1.htm

ventajas de estos catalizadores es la facilidad para recuperar la glicerina, sin necesidad de procesos complejos, además el contenido de ácidos grasos libres no es problema ya que son convertidos completamente en metiléster. Los valores de conversión son similares a los procesos catalizados por ácidos o bases, dependiendo del alcohol y el aceite utilizado. El problema de estos es que los costos son muy elevados.

4.3.3 Materias Primas. Como se mencionó anteriormente, el biodiesel se puede obtener de aceites vegetales y grasas animales, en general, cualquier materia prima que contenga triglicéridos. Las principales materias primas son las oleaginosas y sus aceites derivados. A continuación se detallan las principales materias primas para la elaboración de biodiesel.

Aceites vegetales convencionales: entre estos encontramos diversidad de clases como son:

- Aceites de semillas oleaginosas: girasol, colza, soja, higuera y coco.
- Aceites de frutos oleaginosos: palma.
- Aceites de semillas oleaginosas alternativas: Brassiacarinata, camelina sativa, jatropha curcas, pogianus, cynaracurdunculus.
- Aceites de semillas oleaginosas genéticamente modificadas: Aceite de girasol de alto contenido oleico.

Grasas Animales: además de los aceites vegetales, las grasas animales también son fuente de triglicéridos. Como materia prima para la transesterificación se han utilizado el sebo de vaca y el de búfalo. El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de alimentos animales.

Aceites de otras fuentes: es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales mediante procesos microbianos a partir de bacterias, hongos, algas y microalgas.

Aceites de fritura usados: es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel por su bajo costos, sin embargo pueden presentar algunas dificultades en cuanto a su control debido a su carácter de residuo por lo que las características van a ser siempre variables, debido a la degradación térmica.

A continuación se profundizará en algunos aspectos de las grasas y aceites empleados en la industria alimentaria, así como sus reacciones químicas y cambios debidos del proceso de fritura.

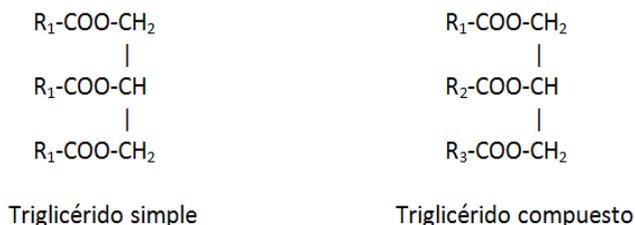
4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEITES Y GRASAS ALIMENTARIOS

La grasa y aceites son predominantemente triésteres de ácidos grasos y glicerol, llamados comúnmente triglicéridos. Son insolubles en agua y solubles en la mayoría de los solventes orgánicos. Son menos densos que el agua y a temperatura ambiente varían de consistencia desde líquidos a sólidos. Cuando aparecen sólidos, se les denomina “grasas” y cuando son líquidos, “aceites”.

“Los triglicéridos representan normalmente más del 95% en peso de la mayoría de las grasas y aceites alimentarios. Entre los constituyentes minoritarios se encuentran monoglicéridos y diglicéridos, ácidos grasos libres, fosfátidos, esteroides, alcoholes grasos, vitaminas liposolubles y otras sustancias”.¹³

A continuación se describen algunas características de los principales componentes de las grasas y aceites comestibles.

4.4.1. Triglicéridos. “Un triglicérido se compone de glicerol y ácidos grasos. Cuando todos los ácidos grasos que lo conforman son iguales, se le denomina “simple”. Sin embargo, son más comunes los triglicéridos “compuestos”, en los que dos o tres residuos diferentes de ácidos grasos están presentes en la molécula. A continuación se indican las representaciones de un triglicérido simple y de uno compuesto, donde R_1 -COO, R_2 -COO y R_3 -COO simbolizan diferentes residuos de ácidos grasos esterificados con glicerol ($\text{HOCH}_2\text{-CHOH-CH}_2\text{OH}$)”.¹⁴



4.4.2 Monoglicéridos y diglicéridos. Estas moléculas son mono y di-ésteres de ácidos grasos y glicerol. Son importantes como agentes emulsificantes y se emplean en productos alimentarios. Están presentes naturalmente en pequeñas cantidades tanto en grasas animales como en aceites vegetales.

¹³ BAILEY, Alton E. Aceites y Grasas Industriales. Buenos Aires. Ed. Reverte. 1979

¹⁴ ZILLER, Steve. Grasas y Aceites Alimentarios. Zaragoza. Ed. Acribia. 1996

4.4.3 Ácidos grasos libres. Cualquier ácido graso no unido a glicerol o a algunas otras moléculas en un aceite o grasa se denomina de ácido graso libre. Los aceites no refinados presentan un alto contenido en ácidos grasos libres, el cual se reduce durante el proceso de refinado. Según Lawson, una cantidad típica para el aceite de soja bruto es de 0,5 a 1,5% de ácidos grasos libres y mientras que el aceite bruto de palma contiene del 3,0 al 5,0%.

Luego de que los aceites son refinados y están listos para el uso en alimentos su nivel de ácidos grasos libres es habitualmente inferior al 0,05%.

4.4.4 Fosfátidos. Están constituidos por un polialcohol (generalmente, aunque no en todos los casos, el glicerol) esterificado con ácidos grasos y ácido fosfórico. El ácido fosfórico está a su vez combinado con un compuesto básico nitrogenado. La lecitina y la cefalina que son los dos fosfátidos más comunes se pueden considerar como triglicéridos en los que un radical ácido graso ha sido substituido por uno fosfórico.

4.4.5 Esteroles. Son compuestos característicos de todas las grasas y aceites naturales, constituyendo en la mayoría de los casos la mayor porción de la materia insaponificable, sin embargo, no tienen mayor interés en el análisis químico de aceites, puesto que son químicamente inertes y no toman parte en ninguna propiedad del aceite. También suelen denominarse como alcoholes esteroideos, una clase de sustancias que contienen un núcleo común esteroideo más una cadena de 8 a 10 átomos de carbono y un radical alcohol. Aunque los esteroides se hallan tanto en las grasas animales como en los aceites vegetales, existe una clara diferencia biológica entre ellos.

El colesterol es el esteroide mayoritario en las grasas animales pero se encuentra en cantidades traza en los aceites vegetales. Los esteroides de los aceites vegetales se denominan en general “fitoesteroides”.

4.4.6 Alcoholes grasos. Los alcoholes grasos de cadena larga o también conocidos como superiores tienen poca importancia en la mayoría de grasas vegetales ya que no se encuentran en cantidades apreciables, mientras que en muchos aceites de animales marinos se encuentran en proporción elevada ya sea en estado libre o combinados con ácidos grasos formando ceras.

4.4.7 Tocoferoles. Otro de los componentes minoritarios importantes de la mayoría de las grasas de origen vegetal son los tocoferoles, un importante tipo de antioxidantes idénticos a la vitamina E capaces de retardar el enranciamiento oxidativo. El alfa-tocoferol es el antioxidante natural más importante y su

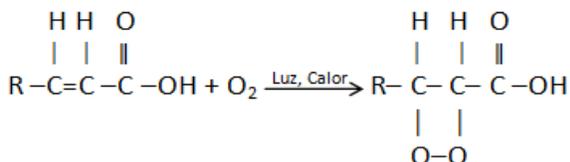
distribución es casi universal. Según Bailey, se ha comprobado que los aceites y grasas naturales, por contener cantidades mínimas de estas sustancias capaces de inhibir poderosamente la oxidación, son mucho más resistentes a la alteración oxidativa que los triglicéridos puros.

4.4.8 Carotenoides y clorofilas. Son sustancias presentes naturalmente en los aceites y grasas, responsables de su color. Los carotenoides varían desde el amarillo al rojo intenso ocasionando el color característico de los aceites vegetales, aunque a veces el contenido de clorofila en el aceite es suficiente para darle una coloración verdosa, indeseable excepto en el caso del aceite de oliva. Normalmente los niveles de la mayoría de estos compuestos coloreados se reducen durante el procesado de los aceites para darles un color, aroma y estabilidad aceptables, ya que son termolábiles en cierto grado. La hidrogenación de un aceite disminuye la insaturación de sus pigmentos carotenoides lo suficiente para conseguir una significativa reducción del color, mientras que una oxidación moderada, oscurece los aceites vegetales.

4.5 REACCIONES QUÍMICAS DE LAS GRASAS Y ÁCIDOS GRASOS

Algunas de las propiedades de las grasas y de los ácidos grasos tienen especial importancia porque se emplean en los procesos para la manufactura de productos grasos. El conocimiento de los cambios químicos que pueden sufrir las grasas y aceites es necesario además para comprender y enfrentar los posibles problemas derivados de su almacenamiento y uso. “Las reacciones más importantes tienen lugar en (1) los puntos de insaturación de la cadena de los ácidos grasos y (2) en el punto donde los ácidos grasos están unidos a la molécula de glicerol (la unión éster). Este conocimiento será especialmente útil en la comprensión de los cambios que tienen lugar en las grasas usadas en la fritura de profundidad”.¹⁵

4.5.1 Oxidación. Esta reacción tiene lugar en los dobles enlaces o puntos de insaturación, ocurre entre el ácido graso y el oxígeno del aire. A la oxidación inducida por el aire a temperatura ambiente se le denomina autooxidación.



La formación de peróxidos como resultado de esta reacción desarrolla sabores y olores desagradables en las grasas y aceites. La velocidad de oxidación crece con

¹⁵ Ibíd.

un incremento en la temperatura, con la exposición al oxígeno del aire, presencia de luz y contacto con materiales que son considerados como pro-oxidantes.

4.5.2 Polimerización. Al mismo tiempo que se produce la oxidación a la temperatura ambiente, o aún sin la presencia de oxígeno, solamente por elevación de la temperatura se produce la polimerización de los esteres de los ácidos grasos altamente insaturados.

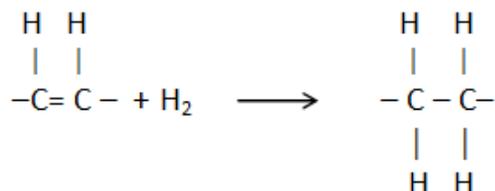
A diferencia de la mayor parte de las reacciones de las grasas y otros derivados de los ácidos grasos, la polimerización está profundamente influida por la naturaleza del alcohol con el que está esterificado el ácido graso.

Las moléculas de triglicéridos se combinan fácilmente unas con otras, para formar sólidos sin punto de fusión, es decir, polímeros tridimensionales o geles, tales como los que se presentan en las películas de pinturas o barnices. Correspondientemente, los esteres de los dioles no forman geles, sino líquidos viscosos o polímeros lineales; mientras que los de los monoles o los ácidos grasos libres, no se polimerizan fácilmente.

“Se considera que la polimerización térmica es debida a la unión directa de los enlaces carbono-carbono entre las cadenas de ácidos insaturados, mientras que la polimerización por oxidación se efectúa, en grado considerable, por la formación de enlaces carbono-oxígeno-carbono”.¹⁶

La polimerización se práctica industrialmente en los aceites, para preparar recubrimientos protectores como pinturas y barnices.

4.5.3 Hidrogenación. Este es el proceso por el que se añade hidrógeno directamente a los puntos de insaturación de los ácidos grasos, para formar los correspondientes ácidos grasos saturados o al menos reducir su grado de insaturación. En presencia de catalizadores adecuados y a una temperatura y presión concreta el hidrogeno gaseoso se añade fácilmente a los enlaces dobles de los ácidos grasos.

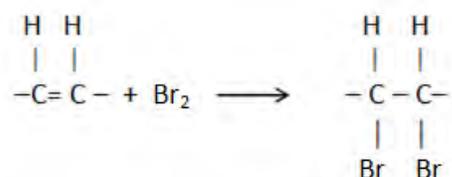


¹⁶ BAILEY, Op Cit.

“La hidrogenación de las grasas ha surgido por la necesidad de (1) convertir aceites líquidos en aceites de consistencia semisólida, que son de mayor utilidad en ciertos usos alimentarios e (2) incrementar la estabilidad térmica y a la oxidación de una grasa o aceite”.¹⁷ La reacción se controla fácilmente y puede ser detenida en cualquier punto. Habitualmente se elabora una variedad de productos con diferentes grados de hidrogenación, cuando se hace ligeramente, los aceites se mantienen líquidos. Una hidrogenación mayor puede producir grasas blandas pero de apariencia sólida, que contienen aún cantidades apreciables de ácidos grasos insaturados, de este tipo son los dedicados a grasas de repostería y margarinas.

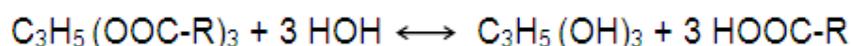
Si el aceite se hidrogena completamente, se eliminan totalmente los enlaces y el producto resultante es un sólido duro y quebradizo a temperatura ambiente.

4.5.4 Halogenación. El yodo, el cloro y el bromo, así como el monobromuro y el monocloruro de yodo pueden también adicionarse a los dobles enlaces de los ácidos grasos al igual que el hidrogeno.



La adición se produce fácilmente, pero solo bajo condiciones especiales es cuantitativa, debido a la tendencia de los halógenos a no adicionarse cuantitativamente o, en algunos casos, a desplazar simultáneamente los átomos de hidrogeno. No obstante, la adición de cantidades medidas de monocloruro de yodo a cantidades medidas de grasas o aceites es la base de una característica muy importante para determinar su grado medio de insaturación que se conoce como *índice de yodo* y se define como el número de gramos de yodo absorbidos bajo condiciones determinadas, por 100 gramos de grasas o ácidos grasos.

4.5.5 Hidrólisis. La hidrólisis es la reacción del agua con los glicéridos de las grasas, lo que se traduce en la separación de los ácidos grasos y el glicerol. Como resultado se incrementa el porcentaje de ácidos grasos libres. Esta reacción tiene lugar en la unión entre los ácidos grasos y la porción de glicerol.



¹⁷ZILLER, Steve. Grasas y Aceites Alimentarios. Zaragoza. Ed. Acribia. 1996.

La reacción hidrolítica es catalizada por los ácidos y por enzimas lipolíticas principalmente. La catálisis por enzimas es la que se efectúa en el tracto digestivo del hombre y los animales y en las bacterias.

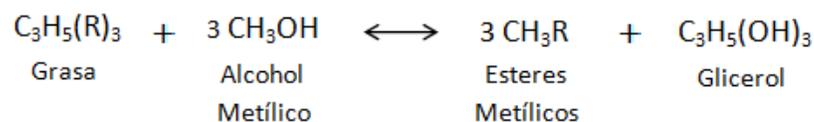
4.5.6 Esterificación. De forma simple, la esterificación puede considerarse la reacción inversa a la hidrólisis. Es la combinación o recombinación de ácidos grasos libres con glicerol para formar triglicéridos, aunque también pueden producirse monoglicéridos y diglicéridos. Se lleva a cabo a elevadas temperaturas, con agitación y generalmente en un recipiente a vacío o empleando cualquier otro procedimiento para separar continuamente el agua que se forma.

La esterificación de los ácidos grasos con los alcoholes metílico, etílico y otros monooxidrílicos catalizada con ácido es bastante frecuente. Sin embargo, Bailey menciona que por regla general, es más conveniente la alcoholisis de las grasas neutras, para la producción industrial de monoesteres, que la esterificación de los ácidos grasos libres.

4.5.7 Interesterificación. Esta reacción puede ser explicada como una migración e intercambio de radicales de ácidos grasos desde un punto a otro en una misma molécula de grasa o la combinación de una grasa con otra, con ácidos grasos libres, alcoholes u otros esterres, gracias al intercambio de dichos grupos ácidos.

La hidrólisis de una grasa con un alcohol alifático monooxidrílico de bajo peso molecular, tal como el metanol o etanol, se cataliza, tanto por los ácidos, como por los álcalis. La reacción se puede efectuar a bajas temperaturas, el metanol o etanol alcanzan el equilibrio con las grasas a temperatura ambiente, en presencia de hidróxido sódico, al cabo de dos horas. Este método ha sido ampliamente utilizado para la obtención de glicerina, mediante el desplazamiento del glicerol de la grasa por alcoholes de bajo peso molecular.

Cuando se emplea alcohol metílico, la reacción transcurre de esta forma:

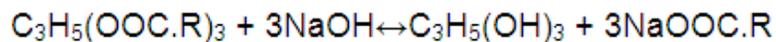


Una reacción semejante es la que tiene lugar entre los glicéridos y los ácidos grasos de bajo peso molecular, en la que éstos desplazan a los de peso molecular elevado.

La reacción inversa puede utilizarse para la obtención de triglicéridos a partir de esterres de los alcoholes más sencillos. Esta se produce a elevadas temperaturas,

de forma que los alcoholes son separados continuamente por evaporación del sistema de reacción debido a su alta volatilidad, mientras que con el catalizador apropiado se produce la migración de los radicales ácidos para formar mono, di y triglicéridos.

4.5.8 Saponificación. Si se escinde una grasa con un álcali, en lugar de con agua, se obtienen glicerina y una sal o jabón de metal alcalino con el ácido graso; esta reacción se llama saponificación y es la base de la industria del jabón.



Esta reacción es la base de dos importantes determinaciones analíticas: El índice ácido o número ácido, que mide el grado de hidrólisis de una grasa y se define como el número de miligramos de KOH requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres en un gramo de grasa. La acidez de una grasa también puede expresarse en porcentaje de ácidos grasos libres, suponiendo en el cálculo que los ácidos tienen un peso molecular igual al del ácido oleico.

El índice de saponificación se define como el número de miligramos de KOH requeridos para saponificar un gramo de grasa; al igual que otros índices relacionados como el índice de neutralización o el equivalente de saponificación, mide el peso molecular medio de la sustancia grasa.

4.6 EL ACEITE EN LOS PROCESOS DE FRITURA

Los aceites y las grasas alimentarios están dentro de tres importantes áreas de la preparación de alimentos: (1) las industrias de procesamiento de alimentos, (2) las cocinas de hostelería y restauración y (3) el hogar. Para algunos usos existen semejanzas entre las tres, en cuanto al producto necesario y a las características de realización. Sin embargo existen diferencias, en cada una de ellas el aceite se utiliza en distintas formas dependiendo del método de cocinar, además las cantidades necesarias en la industria, cocina de restauración y hogar son obviamente diferentes. Los aceites y grasas tienen usos industriales diversos, donde se incluyen como aderezo o ingrediente, no directamente en la preparación del alimento como ocurre en la fritura, sino por ejemplo en mezclas para pasteles, alimentos precocinados, etc.

Entre las operaciones de cocina más importantes que involucran aceites y grasas alimentarios está el cocinado a la plancha, la fritura en superficie y la fritura por inmersión. El empleo de aceites en el cocinado a la plancha y en la fritura en superficie es una práctica común en hostelería y restauración en la preparación de productos de desayuno, al igual que es usada por la mayoría de amas de casa. En

estas operaciones el aceite o grasa que se utiliza es absorbido en gran parte por el alimento preparado, por lo que la cantidad de aceite residual es mínima o nula.

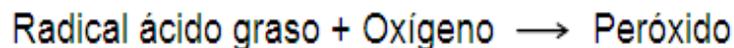
La fritura por inmersión es un método muy importante de cocinado que implica la transferencia directa de calor del aceite caliente al alimento frío, debido al paso directo del calor del aceite al alimento el proceso de cocinado es rápido. A diferencia de las anteriores, es una operación donde se puede obtener aceite de desecho puesto que se necesitan grandes cantidades para la preparación de los alimentos, con el tiempo el aceite va perdiendo sus características físicas y químicas de calidad y se hace necesario eliminarlo.

Las grasas empleadas en la fritura por inmersión experimentan gradualmente ciertos cambios químicos durante su uso. Los cambios más importantes son (1) formación de color, (2) oxidación, (3) polimerización e (4) hidrólisis. Además de estas transformaciones químicas, se observan otros cambios físicos como el desarrollo de olor y sabor.¹⁸

4.6.1 Cambios en la grasa y reacciones durante la fritura.

Formación de Color: todos los alimentos que se fríen aportan sustancias (por ejemplo, azúcares, almidones, proteínas, fosfatos, compuestos de azufre y metales traza) que se acumulan en el aceite durante el proceso de fritura. Estos materiales extraídos se doran y/o reaccionan con el aceite y causan el oscurecimiento del mismo. La velocidad de formación de color en el aceite es diferente según cada alimento, los componentes que contienen proteínas causan el oscurecimiento a una velocidad mucho más alta que los que contienen almidón, por ejemplo.

Oxidación: el oxígeno del aire reacciona con la grasa de la freidora. Algunos de los productos de la reacción son eliminados de la freidora por el vapor desarrollado durante la fritura del alimento, pero otros productos de la reacción permanecen en el aceite y pueden acelerar la oxidación posterior de la grasa. A temperatura ambiente (20- 26 °C), la oxidación suele ser un proceso relativamente lento, sin embargo, a las temperaturas de fritura la oxidación se produce de manera bastante rápida.



¹⁸LAWSON, Harry. Aceites y Grasas Alimentarios: Tecnología, Utilización y Nutrición. 2da Edición. Zaragoza. Ed. Acribia. 1999.

Cuanto mayor sea la temperatura, más rápida será la velocidad de oxidación. El resultado es el desarrollo de sabores y aromas desagradables característicos de esta alteración conocida como “enranciamiento oxidativo”.

Algunos aceites resisten esta modificación en un amplio grado, mientras que otros son más susceptibles, dependiendo del grado de insaturación; los productos que contienen una proporción más elevada de ácidos grasos insaturados son más propensos a la oxidación que los que contienen cantidades más bajas.

Otros factores, a parte de la temperatura, que afectan a la velocidad de oxidación son:

- La cantidad de área superficial del aceite que se encuentra expuesta al oxígeno.
- La presencia de metales como el cobre y el latón que aceleran la oxidación.
- La presencia de antioxidantes a alta temperatura, tales como la metil silicona, que retardan la oxidación.
- La luz; es una práctica común en la industria proteger los aceites de la luz para preservar su vida útil.
- La calidad del aceite de fritura. Cuanto más insaturado es un aceite, mayor será su sensibilidad al enranciamiento oxidativo.

También es importante la eliminación regular de las partículas de alimento que se encuentran en el aceite de fritura.

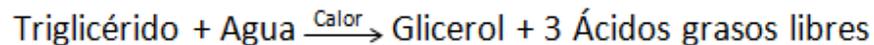
Polimerización: una oxidación excesiva va a menudo acompañada de una polimerización. Todos los aceites empleados comúnmente, y particularmente aquellas ricas en ácidos grasos poliinsaturados tienden a formar moléculas más grandes conocidas como polímeros cuando se calientan en condiciones extremas de tiempo y temperatura.

Durante el proceso de fritura en profundidad, bajo las condiciones normales de procesado y cocinado, se forman varios productos de descomposición y los polímeros se forman en cantidades insignificantes, algunos de estos productos son esencialmente volátiles a las temperaturas de fritura y tienen escasa responsabilidad en el desarrollo de polímeros. Los productos de descomposición no volátiles son compuestos polares, de alto peso molecular; estas reacciones dan lugar a la formación de grandes moléculas.

Aunque el mecanismo de polimerización no se comprende en su totalidad, se cree que los polímeros se forman bien por enlace directo entre átomos de carbono, o bien por puentes de oxígeno. Una cantidad apreciable de polímero provoca un marcado incremento en la viscosidad, formándose moléculas que pueden resultar pegajosas. Cuando se produce la formación de pegotes generalmente aparecen donde la superficie del aceite y el metal de la freidora entran en contacto con el oxígeno del aire.

La polimerización puede también tener como resultado la formación de espuma. Con el desarrollo de más y más polímeros de elevado peso molecular, el aceite de fritura contendrá ácidos grasos de longitudes de cadena considerablemente diferentes. Esta diferencia en las longitudes de cadena produce la formación de espuma en los aceites de fritura.

Hidrólisis: es la reacción del agua del alimento con la grasa de fritura para formar ácidos grasos libres. La hidrólisis resulta acelerada por las altas temperaturas y presiones y una excesiva cantidad de agua, como se representa a continuación.



La proporción de hidrólisis o ácidos grasos libres formados depende de los siguientes factores:

- La cantidad de agua liberada en el aceite, a mayores cantidades de agua más rápido es el cambio. El agua, generalmente, procede del alimento que va a freírse.
- La temperatura del aceite de fritura. A mayor temperatura, más elevada es la velocidad de producción de ácidos grasos libres.
- El número de ciclos de calentamiento/enfriamiento de los aceites.
- A mayor cantidad de migajas y partículas quemadas procedentes del alimento y acumuladas en el sistema de fritura, mayor velocidad de desarrollo de ácidos grasos libres. Por lo tanto, la filtración correcta y frecuente es importante para mantener este efecto bajo mínimos.

Esta reacción es de importancia en la preparación de alimentos fritos en profundidad ya que la grasa puede estar a una temperatura entre los 175 - 200 °C y el alimento que se fríe tiene un alto contenido de agua. Un buen ejemplo de esta situación es la fritura de chips de papas.

4.7 PRINCIPALES VENTAJAS DEL BIODIESEL

- Proviene de materias primas renovables tal como los aceites vegetales y las grasas animales, por lo que es una alternativa al modelo energético actual.
- Es biodegradable, ya que se deriva de fuentes naturales está formado por cadenas hidrocarbonadas que forman ésteres que se descomponen con más facilidad en comparación con los alcanos, cicloalcanos e hidrocarburos aromáticos que componen el diesel convencional que muy difícilmente se degradan.
- “Contiene 11% de oxígeno en peso y no contiene azufre, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero durante su combustión, aproximadamente en 80% las de anhídrido carbónico y casi 100% las de dióxido de azufre”.¹⁹
- Posee mejores cualidades lubricantes que el combustible tradicional, por lo cual al ser adicionado al petrodiesel, lubrica algunas partes móviles de las bombas diesel y de los inyectores.
- Los vehículos no requieren modificaciones en su sistema de combustión para el uso de biodiesel en mezcla hasta del 20%.
- Sus propiedades como el punto de inflamación alrededor de 150° C permiten un transporte y almacenamiento más seguro que el diesel de petróleo.
- Puede obtenerse de un sin número de aceites, incluyendo aceites vegetales usados, lo cual se convierte en una ventaja ambiental y económica pues es la materia prima más económica a la vez que se estaría aprovechando un residuo.
- Además en el caso particular del aceite usado, la materia prima no entra a competir con la demanda de alimentos que ha sido un aspecto que preocupa a las organizaciones mundiales.

4.8 PRINCIPALES DESVENTAJAS DEL BIODIESEL

- Una de los principales problemas del uso combustible del biodiesel está en el arranque del motor a bajas temperaturas, puesto que su viscosidad aumenta al punto de que puede volverse casi sólido.

¹⁹VAN, Gerpen et al. “Biodiesel ProductionTecnology”. NationalRenewableEnergyLaboratory. 2004

- Dada la alta viscosidad del biodiesel, pueden existir problemas de pérdidas de flujo a través de los filtros e inyectores.
- Pueden aparecer algunos problemas de corrosión en algunas partes del sistema de combustión en el vehículo.
- La presencia de sustancias residuales del proceso de elaboración tales como jabones, glicerina, bases o ácidos afectan la bomba de inyección de combustible y contribuyen a la obstrucción de filtros.
- El precio frente a los combustibles fósiles es poco competitivo, ya que la cadena de producción y distribución es tan larga que al final el precio se incrementa mucho.
- La competencia entre el sector de energía y alimentos por los cultivos de oleaginosas ha creado controversia distorsionando la imagen positiva de los biocombustibles.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas del Biodiesel frente a otros combustibles

	Favorables	No Favorables
Naftero	Posibilidad de usar catalizadores para anular casi totalmente la contaminación.	Monóxido de carbono. Combustible no renovable. Bajo rendimiento
Diesel	No contamina con monóxido de carbono Económico. Bajo consumo.	Contaminantes pesados: Ácido sulfúrico, cadmio, aluminio, etc.
Gas Natural	Solo emite dióxido de carbono y agua, y muy bajo nivel de contaminantes como el CO y el N2O3. Económico.	Al ser un derivado del petróleo, sus reservas están acotadas, se calculan existencias solo hasta 2050. Bajo rendimiento
Gas Licuado de petróleo	Silencioso. Funciona también en nafteros con una mínima reforma. menor contaminación.	Derivado de petróleo, sus reservas están acotadas. Pocas estaciones de servicios que lo expendan.
Etanol (Bioalcohol)	Es renovable de origen agrícola. Puede obtenerse a partir de muchas clases de vegetales. Poco contaminante, emite menos compuestos orgánicos volátiles e hidrocarburos que la nafta	El motor a nafta necesita grandes cambios para ser adaptado. No sirve con temperaturas menores de 10° C. Bajo rendimiento. Costoso.
BIOACEITES (vegetales)	Proceden del cultivo por lo que son renovables. Muy poco contaminante.	Materia prima cara. Los motores convencionales de combustión necesitan grandes cambios para que funcionen con este tipo de aceite.
BIODIESEL (aceite modificado ester metilico)	Es su producción se obtiene harina de alto contenido en proteínas para la ganadería, procedente de los restos de las cáscaras de semillas. Reduce el humo negro y las emisiones en motores Diesel. No emite óxido de azufre responsable de la lluvia ácida.	El costo tres veces superior al gasoil. Se debe cambiar el aceite con mas frecuencia porque se diluye en el carter. Necesita aditivos para arrancar a bajas temperaturas
HIDROGENO	No contamina, solo emite vapor de agua. puede ser usado tanto en motores de combustión como en los eléctricos. Alto rendimiento.	Tiene problemas técnicos de almacenamiento, se deben controlar su temperatura para evitar riesgos de explosión y los depósitos deben ser mas grandes

Fuente: <http://www.biodiesel.com.ar>

4.9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) bajo la responsabilidad del Comité Técnico 186 “Combustibles Líquidos, Alcoholes Carburantes y Biodiesel” emitió la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5444, según la cual se reglamentan las características fisicoquímicas del biodiesel, en concordancia con los estándares internacionales de calidad.

4.9.1 Características físicas. El biodiesel debe aparecer visualmente libre de sedimentos, partículas suspendidas y agua separada.

4.9.2 Características químicas. Las características químicas del producto deben estar enmarcadas por los parámetros establecidos en el cuadro 2.

Cuadro 3. Requisitos de calidad del biodiesel para mezcla con combustibles diesel

Propiedad	Unidades	Requisito	Métodos de ensayo
Densidad a 15 °C	kg/m ³	860 – 900	ASTM D4052 ISO 3675
Número de cetano	Cetanos	47 mínimo	ASTM D613 ISO 5165
Viscosidad (cinemática a 40 °C)	mm ² /s	1,9 – 6,0	ASTM D445 ISO 3104
Contenido de agua	mg/kg	500 máximo	ASTM E203 ISO 12937
Contaminación Total	mg / Kg	24 máximo	EN 12662
Punto de inflamación	°C	120 mínimo	ASTM D93 ISO 2719
Contenido de metanol o etanol	% en masa	0,2 máximo	ISO 14110
Corrosión en lámina de cobre	Unidad	Clase 1	ASTM D130 ISO 2160
Estabilidad a la oxidación (3)	Horas	6 mínimo	EN 14112
Estabilidad térmica	% Reflectancia	70 % mínimo	ASTM D6468
Cenizas sulfatadas	% en masa	0,02 máximo	ASTM D874 ISO 3987
Destilación (PFE)	°C	360 máximo	ASTM D86 ISO 3405
Número ácido	mg de KOH/g	0,5 máximo	ASTM D664 EN 14104
Índice de yodo	gr yodo / 100 gr	120 máximo	EN 14111
Punto de fluidez	°C	Reportar (1)	ASTM D97
Temperatura de Obturación del filtro (CFPP)	°C	Reportar (1)	ASTM D6371 EN 116
Punto de nube/ enturbiamiento	°C	Reportar (1)	ASTM D2500 ISO 3015
Carbón residual	% en masa	0,3 máximo	ASTM D4530 (2) ISO 10370
Contenido de fósforo	mg/Kg	10,0 máximo	ASTM D4951 / Plasma-Masas ISO 14107
Contenido de Na + K	mg/kg	5,0 máximo	ASTM D5863 EN 14108 / EN 14109
Contenido de Ca + Mg	mg/kg	5,0 máximo	ASTM D5863 EN 14108 / EN 14109
Contenido de éster	% en masa	96,5 mínimo	EN 14103
Contenido de alquil ester de ácido linoléico	% en masa	12,0 máximo	EN 14103
Glicerina libre	% en masa	0,02 máximo	ASTM D6584 EN 14105 / EN 14106
Glicerina total	% en masa	0,25 máximo	ASTM D6584 ISO 14105
Contenido de Monoglicéridos	% en masa	0,80 máximo	ASTM D6584 ISO 14105
Contenido de Diglicéridos	% en masa	0,20 máximo	ASTM D 6584 ISO 14105
Contenido de Triglicéridos	% en masa	0,20 máximo	ASTM D 6584 ISO 14105

(1) Los valores para estos parámetros deberán establecerse en las normas técnicas específicas que se definan para cualquier mezcla biodiesel - diesel en cualquier proporción. Los valores definidos deberán ser sustentados en estudios realizados en laboratorios acreditados y avalados por autoridad competente.

(2) El carbón residual debe ser determinado sobre el 100 % de la muestra.

(3) Se recomienda complementar con el método ASTM D4625, con niveles máximos de 1,5 mg/100 ml a 6 semanas.

NOTA El poder calorífico inferior de referencia reportado por el método ASTM D240 debe estar alrededor de 39 500 KJ/Kg.

Fuente: Norma Técnica Colombiana (NTC) 5444

4.10 PARÁMETROS DEL BIODIESEL

Las normas nacionales, siguiendo los parámetros de las normas internacionales, han especificado distintas pruebas de calidad para los combustibles a fin de que sus propiedades no afecten el correcto funcionamiento de los motores diesel. Los parámetros principales son:

4.10.1 Punto de Inflamación. La ASTM D93 define el punto de inflamación (flash point) como "la temperatura más baja corregida a una presión barométrica de 101,3kPa (760 mmHg), en la que la aplicación de una fuente de ignición hace que los vapores de una sustancia enciendan bajo condiciones especificadas de prueba". Esta prueba, en parte, es una medida de alcohol residual en el B100 y es de gran importancia en cuanto a la seguridad en el manejo y almacenamiento del mismo.

Este es un factor determinante para la clasificación de inflamabilidad de los materiales. El punto de inflamación típica de los ésteres metílicos puros es superior a 200 °C, clasificándolos como "no inflamable". Sin embargo, durante producción y purificación del biodiesel, no todo el metanol puede ser eliminado, haciendo que el combustible sea inflamable y más peligroso de manejar y almacenar, si el punto de inflamación está por debajo de 130 ° C.

El exceso de metanol en el combustible también puede afectar a los sellos del motor y elastómeros y corroer los componentes metálicos. Por lo general, un control de calidad de producción de laboratorio debe incluir un aparato de punto de inflamación para control de calidad y como un medio para detectar los niveles de exceso de alcohol.

4.10.2 Agua y sedimentos. El método ASTM D2709 (agua y sedimentos) es una prueba que "determina el volumen de agua libre y sedimentos en combustibles destilados medios que tienen viscosidades a 40 ° C en el rango de 1,0 a 4,1 mm²/s y densidades en el intervalo de 700 a 900 kg/m³.

Esta prueba es una medida de la limpieza del combustible. Para el biodiesel es particularmente importante porque el agua puede reaccionar con los ésteres, formando ácidos grasos libres, y puede favorecer el crecimiento microbiano en los tanques de almacenamiento. El agua suele mantenerse fuera del proceso de producción eliminándola de las materias primas. Sin embargo, algo de agua se puede formar durante el proceso por la reacción del catalizador, hidróxido de sodio o potasio, con el alcohol. Si los ácidos grasos libres están presentes, el agua se formará cuando reaccionen para formar ya sea biodiesel o jabón.

Finalmente, el agua se añade deliberadamente durante el proceso de lavado para eliminar los contaminantes del biodiesel. Este proceso de lavado debe ser seguido por un proceso de secado para asegurar que el producto final cumpla con la norma ASTM D 2709.

Los sedimentos pueden tapan los filtros de combustible y puede contribuir a la formación de depósitos en los inyectores de combustible y otros daños en el motor. Los niveles de sedimentos en el biodiesel pueden aumentar con el tiempo a medida que el combustible se degrada durante el almacenamiento prolongado.

4.10.3 Viscosidad cinemática. Según la ASTM D445 es "la resistencia de un fluido al flujo por gravedad". [Viscosidad dinámica / densidad] La viscosidad cinemática es una especificación de diseño básico para los inyectores de combustible utilizados en los motores diesel; con una viscosidad demasiado alta los inyectores no funcionan correctamente. La viscosidad del B100 es mayor a la del gasoil, por lo que al mezclarse, el biodiesel disminuirá su viscosidad.

Viscosidad dinámica - "relación entre la tensión aplicada al corte y la tasa de corte de un líquido".

Densidad - "la masa por unidad de volumen de una sustancia a una temperatura dada."

4.10.4 Cenizas Sulfatadas. Definida por la ASTM D874 como el "... residuo que queda después de que una [combustible] muestra ha sido carbonizada, y posteriormente tratado con ácido sulfúrico y calentado hasta un peso constante."

Esta prueba controla la ceniza mineral residual cuando un combustible se quema. Para el biodiesel, esta prueba es un indicador importante de la cantidad de metales residuales en el combustible provenientes del catalizador utilizado en el proceso de esterificación. Las cenizas pueden estar presentes de tres formas:

- Sólidos abrasivos
- Jabones metálicos solubles
- Catalizador remanente

Los productores que utilizan un proceso catalizado por bases podrían ejecutar esta prueba con regularidad. Muchos de estas sales de sodio o potasio tienen bajas temperaturas de fusión y pueden causar daños en las cámaras de combustión y formación de depósitos.

4.10.5 Sulfuros Totales. ASTM D5453: "Este método cubre la determinación de azufre total en hidrocarburos líquidos, que bullen en el intervalo de aproximadamente 25 a 400 °C, con viscosidades entre aproximadamente 0,2 y 20 cSt (mm²/s) a temperatura ambiente."

Las materias primas para la obtención de biodiesel tienen típicamente muy poco azufre, pero esta prueba es un indicador de contaminación con material de proteína y / o restos de catalizador o material de neutralización del proceso de producción.

En algunos biodiesel a partir de aceites usados y grasas se ha encontrado niveles de azufre entre 40 - 50 ppm. El efecto principal que puede ocasionar es el incremento de emisiones de gases sulfurados como el monóxido de carbono.

4.10.6 Corrosión a Lámina de Cobre. Según la ASTM D130, la corrosión a la lámina de cobre se utiliza para la detección de la corrosión de cobre de los combustibles y solventes.

Esta prueba controla la presencia de ácidos en el combustible. Para el B100, la fuente más probable de una falla de la prueba sería el exceso de ácidos grasos libres, que son determinados de conformidad con una especificación adicional.

El productor puede optar por ejecutar esta prueba periódicamente, pero la determinación del índice de acidez (D 664) es la medición más importante del contenido ácido en el control de calidad.

4.10.7 Número de Cetano. El número de cetano es una medida de las calidades de ignición del combustible. La ASTM D 613 define que es una medida de la eficiencia del encendido de un combustible diesel, obtenido al compararlo con combustibles de referencia en un motor de prueba normalizada. El cetano para motores diesel es análogo al octanaje en un motor de encendido por chispa - es una medida de la facilidad con que el combustible se inflama en el motor.

Para el biodiesel, el número de cetano es rara vez un problema porque todos los ésteres de ácidos grasos comunes tienen números de cetano cerca o por encima de 47. Los requerimientos del número de cetano también dependerán de factores como diseño y tamaño del motor e incluso condiciones atmosféricas.

4.10.8 Punto de Enturbiamiento (Cloud Point). El punto de enturbiamiento o punto de nube es, según la ASTM D2500, la temperatura a la que comienzan a aparecer una nube de cristales de cera en un líquido cuando se enfría en las condiciones prescritas en este método de ensayo.

El punto de nube es un factor crítico en el rendimiento en clima frío para todos los combustibles diesel. La composición química de algunas materias primas para obtención de biodiesel conduce a un B100 que puede tener mayores puntos de enturbiamiento que otros; dado que los ésteres metílicos saturados son los primeros en precipitarse, las cantidades de estos ésteres, palmitato de metilo y estearato de metilo, son los factores determinantes para el punto de enturbiamiento.

El productor puede modificar el punto de enturbiamiento de dos maneras. Una de ellas es mediante el uso de aditivos que retardan la formación de cristales sólidos por diversos mecanismos. La segunda es por la mezcla de materias primas que tienen cantidades relativamente altas de ácidos grasos saturados con otras que tengan un menor contenido de estos. El resultado es un punto de nube más bajo para la mezcla.

4.10.9 Carbón Residual. Da una medida de la tendencia del combustible a formar depósitos de carbono después de la combustión. Según la ASTM D4530, en los productos del petróleo, la parte que queda después de que una muestra ha sido sometida a la descomposición térmica, es el residuo carbónico.

La prueba básicamente consiste en calentar el combustible a una temperatura alta en ausencia de oxígeno. La mayor parte del combustible se vaporiza, pero una porción puede descomponerse y pirolizar como depósitos carbonosos duros. Esto es particularmente importante en los motores diesel, debido a la posibilidad de que los residuos de carbono obstruyan los inyectores de combustible.

La causa más común de los residuos de carbono en exceso en biodiesel es un nivel excesivo de glicerina. La glicerina total se mide directamente a través de la norma ASTM D 6584, por lo que esta medida no suele ser crítica para el productor.

4.10.10 Numero ácido. Según la ASTM D664 el índice de acidez es la cantidad de base, expresada en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de muestra, requeridos para valorar una muestra a un punto final especificado.

El índice de acidez es una medida directa de ácidos grasos libres en el B100. Los ácidos grasos libres pueden conducir a la corrosión y pueden ser un síntoma de la presencia de agua en el combustible.

Generalmente, para un proceso catalizado por base, el número ácido después de la producción será bajo ya que el catalizador base neutralizará los ácidos grasos libres disponibles. Sin embargo,

el índice de acidez puede aumentar con el tiempo puesto que el combustible se degrada al contacto con aire o agua. Esta prueba debe realizarse regularmente como parte del programa de control de calidad del productor.

4.10.11 Glicerina Libre y Glicerina Total. La ASTM D6584 define que la glicerina libre es el glicerol presente como glicerol molecular en el combustible. Es el resultado de la separación incompleta de los productos éster y glicerol después de la reacción de transesterificación.

Esto puede ser deberse a un proceso de lavado inadecuado o una separación ineficaz del glicerol del biodiesel. La glicerina libre puede ser una fuente de depósitos de carbono en el motor debido a una combustión incompleta.

La glicerina total es la suma de glicerol libre y compuesto. El glicerol no libre o compuesto es la porción de glicerol de las moléculas de mono-, di- y triglicéridos.

Los valores elevados de glicerol total son indicadores de las reacciones de esterificación incompletos, un bajo nivel asegura que ha habido una alta conversión de glicéridos en ésteres monoalquílicos; un alto contenido de mono-, di- y triglicéridos promueve la formación de depósitos de carbono bloqueando los inyectores y afectando el rendimiento en climas fríos.

4.10.12 Fósforo. El método ASTM D4951 cubre la determinación cuantitativa de bario, calcio, cobre, magnesio, fósforo, azufre y zinc en los aceites lubricantes usados y paquetes de aditivos.

En el caso del B100, el fósforo puede venir de la refinación incompleta de los fosfolípidos (o gomas) desde el aceite vegetal o de sus restos y de las proteínas encontradas en el proceso.

4.10.13 Punto final de destilación al vacío. El método ASTM D1160 para la prueba del punto final de destilación a vacío cubre la determinación, a presiones reducidas, de la gama de puntos de ebullición de los productos derivados del petróleo que pueden ser parcial o completamente vaporizados a una temperatura máxima de líquido de 400 °C.

Las fracciones del petróleo tienen decenas o cientos de componentes individuales mezclados entre sí. Las curvas de destilación se utilizan para la caracterización general de una muestra de petróleo dada, en términos de las temperaturas de ebullición de sus compuestos constituyentes.

En el B100 hay, a lo sumo, diez diferentes ésteres presentes, y pueden ser identificados utilizando cromatografía líquida o de gases. El mismo cromatógrafo que determina la glicerina libre y total puede determinar la composición de los ésteres en el B100.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 DESCRIPCION DE LA CADENA COMERCIAL DE COMBUSTIBLES AUTOMOTRICES

Por tratarse de un servicio público la distribución de combustibles está regulada por la Constitución Colombiana, le corresponde al Estado definir los parámetros de la comercialización para asegurar una prestación eficiente. Así mismo el mercado de los combustibles está regido por un conjunto de disposiciones contenidas en el Código de Petróleos, así como en otras leyes y decretos que han venido modificándose y hoy que tienen como marco superior al Plan Nacional de Desarrollo (PND)2002-2006 o Ley 812 de 2003, la cual determinó los agentes que hacen parte de la cadena de distribución de los combustibles derivados del petróleo. En tal sentido, los decretos 4299 de 2005 y 1333de 2007, reglamentarios del PND establecieron los requisitos, obligaciones y el régimen aplicable a dichos agentes, los cuales se describen a continuación.

5.1.1 Refinador. Persona natural o jurídica que ejerce la actividad de refinación de hidrocarburos para la producción de combustibles líquidos derivados del petróleo. Esta actividad es prácticamente propiedad del Estado a través de ECOPETROL S.A. como agente único que cuenta con cuatro instalaciones en todo el territorio nacional, las dos principales son la Refinería de Cartagena y el Complejo Industrial de Barrancabermeja en las ciudades del mismo nombre, que abastecen la mayor parte de la demanda de combustibles del país y las localizadas en Apia y (Meta) y Orito (Putumayo) de menor capacidad productiva.

Aunque esta actividad es libre y se permite la entrada de cualquier agente que lo solicite, no se ha creado aún un mercado competitivo en el área, de manera que el Estado (a través de ECOPETROL) mantiene el monopolio en las actividades de refinación de hidrocarburos, con la ventaja de que los precios de casi todos los combustibles están reglamentados.

5.1.2 Importador. Persona natural o jurídica que ejerce la actividad de importación de combustibles líquidos derivados del petróleo. Aunque las normas señalan plena libertad de importación, en la realidad existen ciertas restricciones, debido a que ECOPETROL es el único agente legal que puede importar combustible en los departamentos fronterizos con el fin de controlar el contrabando y otras prácticas ilícitas en el mercado de los hidrocarburos. De manera similar a la refinación, aunque el país cuenta con todas las condiciones para establecer un mercado competitivo, éste aún no se ha desarrollado. Actualmente no existe competencia entre ECOPETROL y los potenciales agentes importadores que hoy participan en el negocio de distribución mayorista y minorista, debido ala restricción en las

plantas de almacenamiento y en la capacidad de transporte por los poliductos, actividad también controlada por la empresa estatal. Solo la empresa CARBONES DEL CERREJON realiza la actividad de importación, con destino a su propio consumo, ya que cuenta con instalaciones propias de almacenamiento en Puerto Bolívar.

La actividad de importación se puede realizar vía marítima con el almacenamiento de productos en Santa Marta o en Puerto Bolívar y vía terrestre mediante camión-tanque como es la importación desde Venezuela o de Brasil.

5.1.3 Almacenador. Toda persona natural o jurídica dedicada a ejercerla actividad de almacenamiento de combustibles líquidos derivados del petróleo en plantas de abasto y desde las cuales los distribuidores mayoristas suministran los productos a la(s) planta(s) de otro(s) distribuidor(es) mayorista(s), a los distribuidores minoristas o al gran consumidor. Sin embargo, no existe una relación obligada con este agente de la cadena, ya que la mayoría de distribuidores mayoristas cuentan con instalaciones propias de almacenamiento. El almacenador puede interactuar con refinerías, importadores y posiblemente con grandes consumidores.

5.1.4 Distribuidor Mayorista. Toda persona natural o jurídica dedicada a ejercer la distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, a través de una planta de abastecimiento, la cual entrega dichos productos con destino a la(s) planta(s) de otro(s) distribuidor(es) mayorista(s), a los distribuidores minoristas o al gran consumidor. Los distribuidores mayoristas adquieren los combustibles de las refinerías de crudo locales y de las destilerías, los almacenan, aditivan o mezclan y los distribuyen a los otros agentes.

El distribuidor mayorista es el agente que de manera directa e indirecta tiene relación con todos los agentes de la cadena de distribución de los combustibles líquidos. Entre los más importantes están la Organización Terpel, Exxonmobil y Chevron-Texaco.

5.1.5 Transportador. Toda persona natural o jurídica que ejerce la actividad de transporte de combustibles líquidos derivados del petróleo y alcohol carburante a través de medios terrestres, poliductos, marítimo, fluvial, férreo y/o aéreo. En el caso de los ductos existe libre acceso de terceros a la red y ECOPETROL es dueña del 99% de la red de poliductos.

5.1.6 Distribuidor Minorista. Los distribuidores minoristas son aquellos agentes que se dedican a ejercer la venta de combustibles líquidos derivados del petróleo al consumidor final, a través de una estación de servicio (automotriz, de aviación,

fluvial o marítima) o como comercializador industrial, quien a su vez es un distribuidor minorista que suministra combustibles líquidos derivados del petróleo directamente al consumidor final. Las estaciones de servicio automotriz pueden tener carácter público o privado según la clase de servicio que presten; y en general son establecimientos destinados al suministro de combustibles líquidos derivados del petróleo, servicios y venta de productos, al público en general en el primer caso ya particulares en el segundo caso.

5.1.7 Gran Consumidor. Usuario que cuenta con instalaciones que permiten descargar y almacenar combustibles líquidos derivados del petróleo para su consumo final y que consuma en desarrollo de su actividad industrial y comercial más de diez mil (10,000) galones al mes de combustibles líquidos derivados del petróleo. Según la connotación de la norma, los grandes consumidores se clasifican en los que cuentan con instalaciones fijas, los que disponen de instalaciones temporales y el gran consumidor sin instalación. En la categoría de gran consumidor se clasifica prácticamente la totalidad de la industria manufacturera colombiana grande y mediana que utilice para sus distintos procesos los combustibles líquidos.

5.1.8 Comercializador Industrial. El comercializador industrial es un distribuidor minorista que suministra combustibles líquidos derivados del petróleo directamente al consumidor final, siempre que éste consuma un volumen igualo menor a diez mil (10,000) galones al mes de cada tipo de combustible. El comercializador industrial debe tener a su cargo mínimo una estación deservicio y un carro-tanque de su propiedad.

6. ESTUDIO DE MERCADO

La investigación de mercados sirve de enlace entre la organización y su entorno de mercado e implica la especificación, recolección, el procesamiento, el análisis y la interpretación de la información para ayudar a la administración a entender ese ambiente de mercado. Por esta razón es de vital importancia para cualquier organización ya que previene y limita los riesgos y especialmente ayuda para que la toma de decisiones se dé en condiciones de menor incertidumbre.

Este estudio tiene como fin probar que existe un número suficiente de individuos, empresas o entidades económicas, que dada ciertas condiciones presentan una demanda que justifica la puesta en marcha de un programa de producción de biodiesel en la ciudad de San Juan de Pasto, además de aportar información acerca de la disponibilidad de materia prima, situación actual de la oferta y demanda entre otras características del mercado.

La información de este estudio se obtuvo de fuentes secundarias como boletines estadísticos, informes y estudios económicos realizados por las entidades gubernamentales a nivel nacional. También se recurrió a fuentes primarias como entrevistas y encuestas. El estudio se realizó principalmente desde la perspectiva nacional con base a la documentación disponible puesto que a nivel departamental no se cuenta con información suficiente referente al sector de combustibles ya que este campo no se ha presentado gran desarrollo en la región.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El biodiesel es un combustible no derivado del petróleo que consiste en esteres que se pueden derivar tanto de la transesterificación de los triglicéridos presentes en los aceites vegetales o animales, como de la esterificación de los ácidos grasos libres.

Dentro de este concepto, el biodiesel obtenido es el producto de la transesterificación de los ácidos grasos de aceites vegetales residuales en procesos de fritura. Sus propiedades son similares a las del diesel convencional y puede ser utilizado como sustituto o en mezclas.

Al ser un combustible obtenido de fuentes naturales tiene características que hacen de su uso un mecanismo favorable al medio ambiente. Sus características fisicoquímicas estarán dentro de los términos que se registran en la norma técnica respectiva para que el producto sea considerado como biocombustible.

Este producto será comercializado como biodiesel 100 para su uso como combustible, ya sea en el sector de transportes o en la industria de generación

eléctrica. En ambos casos, el porcentaje de mezcla con el ACPM convencional, será responsabilidad del comprador.

Desde el punto de vista comercial, y con base en los reportes nacionales e internacionales, el biodiesel es utilizado principalmente en el sector automotor, ya que éste genera más del 70% de la contaminación del aire de las ciudades (fuentes móviles de polución).

6.1.1 Características del Producto. El producto desarrollado es de color marrón, translúcido, visualmente libre de partículas en suspensión y sedimentos.

Durabilidad. Los reportes bibliográficos concuerdan en que el tiempo de almacenamiento no debe superar los seis meses.

Subproductos. Como producto secundario en la reacción química de los ácidos grasos con el metanol se obtiene glicerina, un alcohol polivalente que tiene muchas aplicaciones industriales, por lo que se presenta como una oportunidad adicional de ganancia en la obtención de biodiesel.

La glicerina que se obtiene es líquida, opaca, de color marrón oscuro y densidad mayor que los alquiles teres. Se separa al final de la reacción de transesterificación y se comercializa sin ningún proceso de purificación.

6.2 CARACTERISTICAS DEL MERCADO

El mercado actual de los combustibles en el país se puede caracterizar como un mercado donde existe un solo vendedor, ECOPETROL S.A. “una sociedad de economía mixta organizada bajo la forma de sociedad anónima”²⁰ que se encarga de satisfacer la demanda nacional a un precio regulado.

“Desde el punto de vista económico, el combustible se considera un bien necesario, su demanda oscila muy poco frente a las variaciones de precio puesto que el consumidor deberá seguir comprando el combustible para su vehículo. Esto es una demanda inelástica”²¹.

Puesto que el biodiesel actualmente no se distribuye como combustible puro, tanto su consumo como distribución está ligada al diesel fósil. La mayor demanda se encuentra principalmente en el sector automotriz y está conformado por los

²⁰ECOPETROL S.A. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx>

²¹UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Elasticidad de la Demanda y la Oferta. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4010043/lecciones/6elasticidaddaofrta.htm>

vehículos tanto de carga, buses y particulares que requieran para su funcionamiento diesel o ACPM, aunque también podría ser utilizado al igual que el aceite diesel, en quemadores de hornos, secadores, calderas y otras industrias.

6.2.1 Análisis de la demanda de diesel y biodiesel en Colombia. En Colombia, el biodiesel está ligado a la demanda de diesel y el porcentaje de mezcla que se reglamenta mediante la legislación. El diesel es uno de los tres combustibles de origen fósil que se emplea en el sector de transporte, junto con la gasolina representan casi un 80% del total de los combustibles derivados de petróleo que se consumen anualmente.

- **Comportamiento histórico de la demanda:** el Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990 – 2010 elaborado por la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME indica que durante 1990 se consumieron 36.000 barriles /día de ACPM, mientras en el 2009 el promedio fue de 98.000 barriles / día. Según los datos históricos de consumo de combustibles de la misma fuente, en los últimos 10 años el comportamiento en el consumo de hidrocarburos dio un giro a favor del diesel, a partir del 2005 y hasta ahora la demanda de diesel supera la de gasolina y sigue en aumento (Grafica 1).

Grafica1. Consumo de Combustibles 1990 – 2009 (Barriles por Día Calendario)



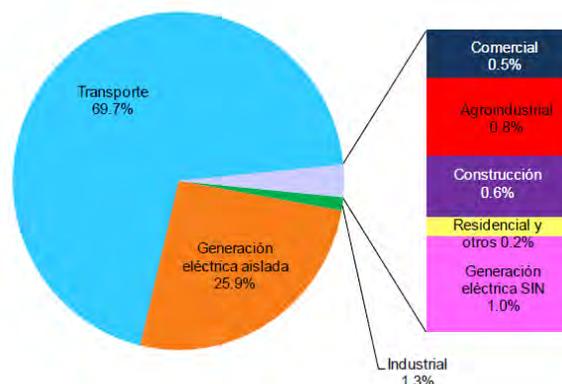
Fuente: UPME – Boletín Estadístico de Minas y Energía 2010

El consumo de ACPM presenta un crecimiento medio anual de 5%, evidenciando un proceso de sustitución de la gasolina motor, situación que en buena medida se dio por decisiones de política reflejadas en un diferencial de precios a favor del

ACPM. Así, el ACPM se ha convertido en la mejor opción para los usuarios, desde la óptica de ahorro, lo que generó la necesidad de importar el combustible desde 2005, gracias a que la producción nacional del ACPM no es suficiente para atender la creciente demanda.

La grafica 2, presenta la participación de los diferentes sectores en el consumo de diesel en Colombia entre los años 2000 y 2009. Durante la última década su demanda creció a una tasa promedio anual de 6.6%, alcanzando las ventas de este combustible en las estaciones de servicio del país en el año 2009 una magnitud de 108,357 BDC.

Gráfica 2. Usos del diesel (ACPM) en Colombia



Fuente: UPME 2010

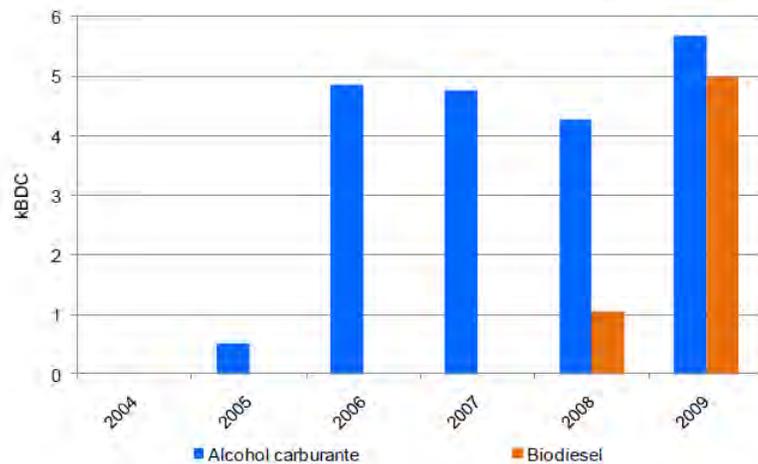
Con respecto a los usos de este energético, de acuerdo al estudio realizado en el año 2009 por la firma Econometría para la UPME, “el diesel tiene un uso más diversificado que el de la gasolina: aproximadamente el 69.7% del mismo es consumido por el sector transporte, mientras que los demás sectores productivos consumen alrededor del 30.1% del total nacional. La categoría otros usos corresponde al consumo final en el sector industrial, donde se destaca la minería del carbón”²².

Desde el año 2005 en el país se vienen adicionando biocombustibles a los combustibles usados principalmente para transporte carretero; la gráfica 3 muestra la evolución de este consumo. En el año 2009 se consumieron 5,693 BDC de alcohol carburante y 4,987 de biodiesel adicionados a la gasolina motor y el diesel, lográndose un porcentaje de mezcla del 7.6% y 4.9% respectivamente, de las ventas de estos energéticos.

²²UPME. Caracterización del consumo de energía de sector transporte carretero de carga y pasajeros, urbano e interurbano en Colombia. 2010

El uso de biodiesel en mezcla es mas reciente que el de alcohol carburante y se ha extendido lentamente desde los lugares en los que se ha iniciado su producción, en consecuencia es la Costa Atlántica donde se inicia la mezcla del 5% durante el 2008 y particularmente en los departamentos de Bolívar y Atlántico.

Gráfica 3. Consumo de biocombustibles en Colombia



Fuente: UPME – 2010

Según lo establecido por el Ministerio de Minas y Energía, a partir de abril de 2009 se inició la distribución de ACPM mezclado con biodiesel al 5% en los departamentos de Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Caldas y Quindío.

“Desde enero de 2012 en el país se comercializa mezcla de ACPM con biodiesel al 10%, este porcentaje varía dependiendo del suministro del biocombustible que en muchas ocasiones es insuficiente para cubrir el requerimiento, por lo cual el abastecimiento de la mezcla fluctúa en algunas regiones del país”²³

La amplia participación actual del diesel de petróleo y el fenómeno de dieselización que se está presentando abren las posibilidades para la inserción del biodiesel, que aunque es mas reciente que el alcohol carburante ya está ganando espacio en la canasta energética nacional.

La UPME señala que el crecimiento en el fenómeno de dieselización no solo es consecuencia de los precios internos, pues también obedece a la implantación en las principales ciudades de sistemas de transporte masivo, así como al cambio de tecnología automotriz en vehículos de servicio particular, carga interurbana y camionetas que permiten mayor eficiencia en el consumo, razón por la cual es cada vez más empleado en segmentos de transporte particulares.

²³ECOPETROL S.A. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co>

Tal como lo indica el CONPES 3510, aún quedan grandes retos para el desarrollo de los biocombustibles en el país y con ellos grandes oportunidades para la industria.

- **Proyecciones de Demanda:** “Los resultados obtenidos bajo el escenario contemplado, registran un incremento en el consumo de ACPM durante todo el periodo, iniciando el 2009 con una demanda de 108.200 BPD y finalizando el 2025 con un volumen de 168.700 BPD, lo cual corresponde a una tasa de crecimiento interanual de 2,8% y a un incremento total del 55,8%.”²⁴

En el caso del biodiesel, “los requerimientos se incrementan a una tasa promedio anual del 2,8% durante el horizonte de proyección con una mezcla del 5%. Así las cosas, durante 2009 se demandan 5.411 barriles día de Biodiesel y en 2025 se requerirán 8.400 barriles por día, es decir un incremento del 55,1%. No obstante, el suministro nacional de biodiesel no permite un cubrimiento total de mezcla, que solo será posible con la entrada de nuevos proyectos”.²⁵

Tomando como referencia una tasa de crecimiento promedio anual de biodiesel de 2,8% y una demanda de 5.411 barriles día en 2009 es posible estimar la demanda para los próximos años utilizando la siguiente ecuación:

$$D_n = D_0(1 + \tau)^n$$

Donde:

D_n : Demanda proyectada.

D_0 : Demanda año base.

τ : Tasa de crecimiento.

n : Número de años.

Cuadro 4. Demanda proyectada

Año	Cantidad Demandada (BPD)	Cantidad Demandada (Barriles/año)
2011	5.718,25	2.087.161,25
2012	5.878,37	2.145.605,05
2013	6.042,96	2.205.680,40
2014	6.212,17	2.267.442,05
2015	6.386,11	2.330.930,15

Fuente: esta investigación

²⁴ UPME. Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990 - 2010. ISBN: 978-958-8363-08-0.2009

²⁵Ibíd.

6.2.2 Análisis de la oferta de diesel y biodiesel en Colombia. Aunque el parque refinador colombiano está orientado a la producción de gasolinas, su producción ha venido disminuyendo mientras se incrementa la de destilados medios, debido al aumento de la demanda nacional de ACPM.

Los datos históricos registrados en ECOPETROL S.A. y según lo reportado en el Boletín Minero Energético desarrollado por la UPME, en 1990 se alcanzó los 41.000 barriles / día de combustible diesel, mientras que para el 2009, esta cifra se incrementó hasta los 73.116 barriles/día. Podemos ver como hace 20 años la producción nacional estaba en capacidad de abastecer la demanda de diesel (36.000 barriles / día), mas en la última década la oferta nacional ha sido superada por los requerimientos de diesel (98.000 barriles / día en 2009), pese a que este incremento en la demanda ha modificado el sistema de producción de derivados de petróleo aún sigue siendo insuficiente, por lo que el país se ha visto en la necesidad de importar el producto, con destino a los distintos sectores de consumo.

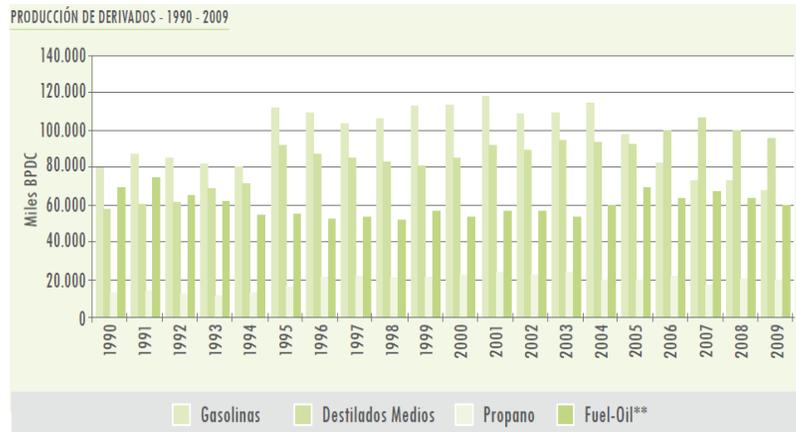
El país importa crudo de alta calidad en pequeña proporción para suministrar a las refinerías(particularmente Cartagena) una mezcla de crudo apropiada al diseño de las plantas que permita la obtención de productos blancos como la gasolina, ACPM y JP. Además, debido a la dificultad para transportar derivados como gasolina y ACPM desde la refinería de Barrancabermeja hasta los departamentos del sur del país como Amazonas, Vichada, Guainía, se importan dichos derivados desde Brasil y Venezuela.

Durante el 2008 se importaron más de 20.000 BPD de ACPM tanto de alto azufre como de bajo azufre, y de esta forma se cumplió con los volúmenes requeridos por el mercado nacional con un mejoramiento de la calidad del mismo.²⁶

La gráfica 4, nos muestra como la producción de destilados medios se ha mantenido en crecimiento durante la última década, en respuesta a la demanda de diesel, llegando a los 73.100 BPD en el 2009.

²⁶UPME. Caracterización del consumo de energía de sector transporte carretero de carga y pasajeros, urbano e interurbano en Colombia. 2010

Gráfica 4. Producción de derivados de petróleo 1990 – 2009



Fuente: UPME – Boletín Estadístico de Minas y Energía 2010

6.2.3 Producción de biodiesel. En cuanto a la producción industrial de biodiesel en Colombia, esta inició en enero de 2008 y se optó por la utilización del aceite de palma como materia prima, dados los desarrollos alcanzados en este sector. Sin embargo, partiendo de la base que entre el 70% y el 90% del costo de producción del biodiesel depende del costo de la materia prima, según investigaciones efectuadas por UPME, elementos como la jatropha, la higuerilla y los aceites de frituras, por su bajo costo de obtención, se vislumbran como insumos tentativos para la producción del biodiesel.²⁷

El biodiesel se ha centrado en el cultivo oleaginoso que produce la mayor cantidad de aceite por unidad sembrada a nivel nacional: la palma de aceite. Actualmente, están operando siete plantas de producción, todas ellas emplean aceite de palma como materia prima. Se espera que próximamente la capacidad de producción de biodiesel de palma en el país sea de 965,000 litros por día, distribuida en las plantas ubicadas en la Costa Atlántica y centro del país con las cuales se podría llegar a una mezcla superior al 10% de biodiesel con ACPM, para el año 2013.²⁸ (Cuadro 5).

²⁷UPME. Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990 - 2010. ISBN: 978-958-8363-08-0.2009

²⁸BENDECK, Jorge. Cadena de Comercialización de Combustibles Líquidos en Colombia. Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia FENDIPETROLEO. [en línea]. Disponible en: <http://www.fendipetroleo.com>

Cuadro 5. Plantas de Producción de Biodiesel

REGION	EMPRESA	CAPACIDAD (Miles Ton/Año)	ÁREA SEMBRADA (Ha)	FECHA ENTREGA
Norte Codazzi	Oleoflores	50	11.111	Enero de 2008
Norte Santa Marta	OdínEnergy	36	8	Junio de 2008
Norte Santa Marta	Biocombustibles Sostenibles del Caribe	100	22.222	Marzo de 2009
Oriental Facativá	BioD	100	22.222	Febrero de 2009
Central B/bermeja	Ecodiesel de Colombia	100	22.222	Junio de 2010
Norte Barranquilla	CleanEnergy	30	7	Abril de 2010
Oriental, San Carlos de Guaranoa, Meta	Aceites Manuelita	100	22.222	Agosto de 2009
TOTAL		516	114,999	

Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Buenas Prácticas de Manejo del Biodiesel y sus Mezclas. 2011. [CD-ROM]

La producción de biodiesel de las plantas en operación ha permitido suministrarla mezcla a usuarios, ubicados básicamente en la Costa Atlántica, principalmente en Atlántico, Magdalena, Bolívar y Norte del Cesar y de allí se ha extendido a las demás regiones del país. De esta forma, el país comienza a prepararse para la entrada en vigencia del Decreto 2629, en el que se establece que, a partir del primero de enero de 2012, todo vehículo cero kilómetros tendrá que estar en la capacidad de trabajar hasta con biodiesel al 20 por ciento (B-20).

La figura 9 muestra la ubicación de las plantas de biodiesel que están en funcionamiento actualmente.

Cuadro 6. Plantas en Operación en Colombia

1. Klean Energy, Barranquilla (Atlántico)
2. Odín Energy, Santa Marta (Magdalena)
3. Biocombustibles Sostenibles del Caribe, Santa Marta (Magdalena)
4. Oleo flores, Codazzi (Cesar)
5. Ecodiesel Colombia, Barrancabermeja (Santander)
6. BioD, Terminal de Mansilla (Cundinamarca)
7. Aceites Manuelita, San Carlos de Guaroa (Meta)

Fuente: esta investigación

Figura 1. Localización de las plantas de producción de biodiesel en Colombia



Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Buenas Prácticas de Manejo del Biodiesel y sus Mezclas. 2011. [CD-ROM]

Como se puede ver, no hay plantas de producción de biodiesel en los departamentos del suroccidente del país, razón por la que el porcentaje de mezcla de biocombustible se estableció primero en la región Caribe, donde se encuentran localizados la mayor parte de productores.

6.2.4 Análisis comparativo oferta – demanda. Cuando la demanda es superior a la oferta estamos ante un mercado con demanda insatisfecha. Si los valores de oferta y demanda son aproximados, se dice que hay una demanda satisfecha. En caso en que los datos de demanda sean inferiores a los de la oferta, tendremos una demanda saturada.²⁹

Para realizar este cálculo tomamos los valores estimados de demanda y oferta para el año 2010, según los datos registrados en los diferentes estudios realizados por las entidades adscritas al Ministerio de Minas y Energía como la UPME y ECOPEL S.A.

²⁹JANY, José Nicolás. Investigación integral de mercados: Un enfoque para el siglo XXI. 2da. Edición. Santa Fe de Bogotá. Mc Graw Hill. 2000.

$\text{Demanda Insatisfecha}_{2010} = \text{Demanda}_{2010} - \text{Oferta}_{2010}$

$DI_{2010} = 2.030.315 - 1.702.420$

$DI_{2010} = 327.895 \text{ barriles / año} = 13.771.590 \text{ galones / año}$

Así, tenemos que para el año 2010 la demanda insatisfecha es de 327.895 barriles de biodiesel, que cubren un 5% del requerimiento de ACPM.

A demás, el mercado brinda posibilidades de implementación de nuevos proyectos de producción de biodiesel ya que se espera durante los próximos años incrementar el porcentaje de mezcla lo que demandará mayor oferta de biocombustible para abastecer todo el territorio nacional.

El estudio de caracterización del consumo de energía del sector transporte realizado por la UPME presenta un balance en la oferta y demanda de combustibles que se detalla en el cuadro 7.

Cuadro 7. Balance Oferta Demanda de los principales combustibles en Colombia

CONCEPTO	Gasolinas (KBPD)	Diesel (KBPD)
PRODUCCIÓN NACIONAL	68,4	65,9
PÉRDIDAS DE TRANSPORTE	0,0	0,0
IMPORTACIÓN	0,6	36,7
BIOCOMBUSTIBLES	4,4	5,0
TOTAL OFERTA LEGAL	73,4	107,6
TRANSPORTE CARRETERO	72,2	82,3
EDS Públicas	69,2	75,8
Grandes consumidores	3,0	6,5
GENERACIÓN ELÉCTRICA	0,8	32,3
EDS Públicas	0,1	0,6
Grandes consumidores	0,7	31,7
OTROS SECTORES	5,5	8,1
Sector industrial	0,5	7,3
Sector agropecuario	2,3	0,6
Comercio	1,6	0,0
Otros	1,1	0,2
TOTAL DEMANDA ESTIMADA	78,5	122,7
SUPERAVIT (DEFICIT)	(5,1)	(15,1)

Fuente: UPME – Caracterización Energética del Sector Transporte 2010

Como se puede observar, la oferta de combustible es insuficiente para abastecer los diferentes sectores que lo demandan, presentando un déficit de 15.1 KBPD. Esta situación constituye una oportunidad para la inclusión de nuevos proyectos

de producción de biodiesel que contribuyan para disminuirla brecha entre oferta y demanda de combustible diesel en el país.

6.3 DETERMINACIÓN DEL MERCADO DEL PROYECTO

Después de analizar la situación actual de combustible diesel y biodiesel en el país podemos afirmar que existe un mercado asegurado, lo cual nos indica que hay posibilidades de participación bajo adecuadas condiciones de competencia. Sin embargo siendo un mercado tan amplio es necesario determinar nuestro mercado potencial con base en la localización geográfica del proyecto.

El mercado objetivo estará conformado por los usuarios de los sectores de transporte y generación de energía. En el primero, es necesario un intermediario que es el agente encargado de realizar la mezcla del biocombustible con el diesel fósil, puede ser una refinería o un distribuidor mayorista. En el segundo caso, el producto puede ser entregado directamente a la planta de generación eléctrica.

En ambos casos, para determinar la parte del mercado a la cual queremos llegar y que posee las características que nos permitirá identificar los compradores potenciales del biodiesel, se limitó el área geográfica a los departamentos del sur occidente del país Nariño, Cauca y Valle del Cauca. No se incluyó el departamento de Putumayo debido a la dificultad en las vías de acceso.

Sector de Transportes. Para la región suroccidental del país, las plantas mayoristas autorizadas para realizar la mezcla del biocombustible, son:

- Organización Terpel S.A. (Bugá - Valle).
- Organización Terpel S.A. (Yumbo - Valle).
- Exxon Mobil, Chevron, Biocombustibles S.A., Petrobras (Yumbo - Valle).
- Exxon Mobil, Chevron, Biocombustibles S.A., Petrobras (Cartago - Valle).
- Exxon Mobil, Chevron, Biocombustibles S.A. (Buenaventura - Valle).
- Organización Terpel S.A. (Pereira - Risaralda).
- Organización Terpel S.A. (Manizales - Caldas).

Analizando la distancia desde la planta de producción y vías de acceso hasta los lugares de destino se identificó que los más cercanos se encuentran en el departamento del Valle del Cauca distribuidos en Bugá, Cartago, Buenaventura y Yumbo. De estas, se seleccionó las ubicadas en Yumbo, situado más hacia el sur del departamento.

En Yumbo encontramos la Planta Conjunta, de los distribuidores mayoristas Exxon Mobil, ChevronTexaco, Biocombustibles S.A. y Petrobras S.A. y la Planta Mulaló, de la Organización Terpel S.A. Estas conforman el mercado objetivo.

Sector de Energía. En cuanto al sector de generación eléctrica, el mercado objetivo está constituido por las poblaciones dentro del departamento de Nariño identificadas como zonas no interconectadas. Las Zonas No Interconectadas (ZNI) son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no vinculados al Sistema Interconectado Nacional (SIN) según el Artículo 1 de la ley 855 de 2003.

En las Zonas No Interconectadas la prestación del servicio se hace principalmente mediante plantas de generación diesel, sistemas fotovoltaicos o pequeñas centrales hidroeléctricas. Centrales Eléctricas de Nariño CEDENAR S.A. E.S.P. presta actualmente el servicio para las zonas no interconectadas en convenio con el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas IPSE, a través de 2 tipos de generación (diesel y fotovoltaica).

Según la base de datos de CEDENAR S.A. E.S.P. las poblaciones identificadas como ZNI a las que presta servicio corresponde a la región Litoral Pacífico – Nariño – Cauca, este grupo lo conforman los centros poblados localizados en los municipios costeros del mar pacifico localizados en los departamentos de Nariño y Cauca como son:

- Nariño: El Charco, La Tola, Francisco Pizarro (Salahonda), Mosquera, Olaya Herrera (Bocas de Satinga), Santa Bárbara, Barbacoas, Roberto Payan, Magüi Payan, y Tumaco área rural.
- Cauca: Guapi, López de Micay y Timbiquí.

Estos lugares operan con diesel, los cuales constituyen el mercado potencial de este sector eléctrico.

6.3.1 Mercado Potencial. La comercialización del producto está dirigida entonces hacia los clientes actuales de biocombustible, esto es los distribuidores mayoristas y como clientes potenciales se ubican las plantas de generación eléctrica que actualmente funcionan con diesel. Para determinar la forma en que se podría establecer un convenio de abastecimiento de biocombustible se buscó contactar con algunos de los mayoristas y para el sector de energía con el IPSE a través CEDENAR S.A. E.S.P.

6.3.2 Características del Cliente.

Distribuidores Mayoristas: dentro del área de influencia del proyecto los distribuidores autorizados se listan a continuación.

- **Exxon Mobil:**

Es una petrolera estadounidense que se dedica a la exploración, producción, transporte, refinación, distribución y comercialización de petróleo crudo, gas y sus derivados. Opera en 5 continentes y en más de 40 países, posee cerca de 29.000 estaciones de servicio. A nivel latinoamericano, ExxonMobil actúa en 4 países: Argentina, Brasil, Colombia y México. En Colombia contempla estaciones de servicio para la venta y distribución de combustibles y derivados del crudo, ofrece una amplia gama de productos tales como la gasolina, diesel, lubricante automotriz, grasas y kerosene para la aviación, bajo las marcas ExxonMobil, Esso y Mobil.³⁰

- **Chevron Corporation:**

Multinacional estado unidense con sede en San Ramón, California, Estados Unidos y opera en más de 180 países. Se dedica a todos los derivados del petróleo, gas y energía geotérmica, industrias de energía, incluyendo la exploración y producción, refinación, comercialización y transporte, fabricación de productos químicos y ventas y la generación de energía. Chevron es una de las seis "supergrandes empresas petroleras" del mundo. Durante los últimos cinco años, Chevron ha sido continuamente considerada como una de las cinco compañías más grandes de América por Fortune 500.³¹

- **Petrobras:** "Petróleo Brasileiros una empresa de energía brasileña de naturaleza semi-pública con participación nacional y extranjera privada. Petrobras opera en forma activa en el mercado internacional de petróleo así como también a través del intercambio de una importante diversidad de productos relacionados con la industria hidrocarburífera"³²

- **Terpel S.A.:**

Es una distribuidora y comercializadora de combustibles en Colombia, posee el 39% de participación en el mercado de dicho país. Sus principales productos son la gasolina, diesel, lubricante automotriz, GNV, grasas y kerosene para la aviación. Su red está compuesta por 1.460 estaciones de servicio, 28 plantas de abastecimiento y operaciones en 20 aeropuertos colombianos. La empresa Terpel solo en diez años se convirtió en otra multinacional con sello colombiano con presencia en otros cinco países: Ecuador, Perú, Chile, México, Panamá. Hoy la ubican como la tercera

³⁰EXXON MOBIL. Fecha de actualización 12 de mayo de 2012. [en línea]. Disponible en: http://www.bnamericas.com/company-profile/es/Exxon_Mobil_Corporation-ExxonMobil

³¹COMPANY PROFILE. Actualizado abril 2012. [en línea]. Disponible en: <http://www.chevron.com/about/leadership/>.

³²PETROBRAS. Disponible en: <http://www.petrobras.com/es/paises/colombia/colombia.htm>

empresa más grande del país, la primera en ventas y una de las de mayor crecimiento en América Latina.³³

- **Biocombustibles S.A.:** “Bajo la marca Biomax cubre todos los procesos gerenciales, operativos y de apoyo relacionados con la comercialización, recepción, almacenamiento, distribución mayorista y minorista de combustibles terrestres y de aviación derivados del petróleo y biocombustibles”³⁴

El centro de operaciones de estas empresas se encuentra en Bogotá y por ser compañías internacionales el acceso a la información es muy restringido, por esta razón el contacto se realizó por vía telefónica a fin de indagar aspectos como el precio de compra y requisitos para proveedores de biodiesel.

Las entrevistas telefónicas concedidas por el departamento de abastecimiento de cada una de las empresas mencionadas, arrojaron la siguiente información.

- **Precio:** con respecto al precio de compra, todos los distribuidores mayoristas consultados pagan el máximo establecido por el Ministerio de Minas y Energía (MME).
- **Requisitos y trámites para proveedores:** por ser un producto cien por ciento regulado, el requisito fundamental que debe cumplir el proveedor es estar debidamente certificado y acreditado ante el MME, según lo estipulado en la Resolución 182142 de diciembre de 2007, por la cual se expiden normas para el registro de productores y/o importadores de biocombustibles para uso en motores diesel y se establecen otras disposiciones en relación con su mezcla con el ACPM del origen fósil. Por su puesto el biodiesel debe estar en conformidad a los parámetros definidos en la Hoja de Calidad emitida por el mismo ministerio.

Cumpliendo con estos requisitos básicos el proveedor debe presentar su oferta al mayorista quien hace el proceso de selección. Para el caso de ExxonMobil, Chevron y Terpel S.A., la propuesta debe presentarse en medio físico en las oficinas en Bogotá, mientras que Petrobras y Biocombustibles S.A. también las reciben a través de su página web.

Luego de este trámite, se procede a una entrevista formal para establecer las condiciones y tiempo de duración del contrato.

³³AREIZA, Ricardo. Terpel el gigante colombiano. La nación. Publicado 17 de mayo de 2010. [en línea]. Disponible en: <http://www.lanacion.com.co/2010/05/17/terpel-el-gigante-colombiano/>

³⁴BIOMAX PROFILE. Bogotá – Colombia. [en línea]. Disponible en: http://www.biomaxcolombia.com/compania_quienes.php#

- **Cantidad:** para conocer la cantidad de biodiesel que compraron los mayoristas durante el último año se consultó el Sistema de Información de la Cadena de Distribución de Combustibles Líquidos – SICOM y se obtuvo la información mostrada en el cuadro 8.

Cuadro 8. Cantidad de Biodiesel adquirido

Distribuidor Mayorista	Cantidad Anual (gal)	Promedio mensual (gal)
Biomax Biocombustibles S.A.	112.610.729	9.384.227
Chevron Petroleum Company	10.257.637	854.803
Exxon mobil de Colombia S.A.	28.654.839	2.387.903
Organización Terpel S.A.	39.079.168	3.256.597
Petrobras Colombia S.A.	4.544.530	378.711
Total general	195.146.902	16.262.242

Fuente: Sistema de Información de la Cadena de Distribución de Combustibles Líquidos – SICOM

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE. Es una entidad adscrita al MME, que actualmente desarrolla proyectos de autogeneración eléctrica cuyo propósito es que en las regiones no interconectadas haya una autosostenibilidad en este aspecto. Con este fin se realizaron pruebas técnicas de uso de biodiesel en mezcla en Salahonda y Mutatá, dentro del departamento.

Para acceder a este mercado es necesario presentar un proyecto ante el Instituto donde se defina aspectos como objetivos, localización, tamaño, proceso de producción, tecnología, evaluación económica, población beneficiada, entre otros.

El Centro de Gestión Energética es una sección del IPSE que tiene entre sus objetivos apoyar la investigación aplicada en proyectos especiales utilizando agroenergéticos (biocombustibles), otras energías renovables y/o limpias que permitan incentivar la equidad para el desarrollo social y productivo de las regiones, así como establecer vínculo institucional con otras entidades públicas, privadas, universidades y/o centros de investigación que estén relacionados con los temas y el desarrollo e implementación de Centros Tecnológicos.

Si se logra la aceptación del proyecto, el MME financiaría la ejecución del mismo y se mantendría un mercado asegurado.

6.3.3 Estimación del segmento de mercado a cubrir. Como se puede observar en la información aportada por el SICOM la demanda de biodiesel es muy alta, superando en promedio los 500.000 galones por día. En nuestro caso, el limitante

principal es la materia prima. Más adelante se calculará la capacidad de producción teniendo en cuenta el análisis de la capacidad de abastecimiento.

6.4 PRECIO EN EL MERCADO

El precio del biodiesel en el mercado está regulado mediante la Resolución 181780 del 29 de diciembre de 2005, modificada por las resoluciones 180212 del 14 de febrero de 2007 y 182158 del 28 de diciembre de 2007, que señalan la estructura de precios del ACPM a ser mezclado con biocombustible para uso en motores diesel, basada en los costos de oportunidad de las materias a utilizar en la producción del Biodiesel y del costo de oportunidad del ACPM de origen fósil, además de la garantía en la recuperación de las inversiones a realizar (factor de producción eficiente).

Posteriormente, las señales de precios fueron modificadas por la Resolución 180134 de enero 29 de 2009, en la que se ajusta la fórmula del ingreso al productor del biocombustible para uso en motores diesel, de acuerdo con lo establecido en el documento CONPES 3510 del 31 de marzo de 2008.

Actualmente el ingreso al productor del biocombustible para uso en motores diesel se define por tres métodos de estructura similar y se escoge el que proporcione el mayor valor, analizaremos a continuación el más frecuente, este se basa principalmente en tres factores:

- Un valor de referencia del costo de oportunidad de los usos alternativos de la materia prima más eficiente utilizada para la producción del biocombustible, calculado a partir de los precios de referencia en el mercado internacional del aceite de palma, soya, sebo y estearina de palma, tomando cuatro ponderaciones por fecha para cada uno.
- El precio internacional del metanol como insumo en su producción.
- El cálculo de un valor fijo de transformación denominado Factor Eficiente de Producción que se ajusta hacia arriba o hacia abajo el primero de enero de cada año, teniendo en cuenta el índice de precios al mayorista y la variación del peso con respecto al dólar americano.

De acuerdo a esto, el precio del biocombustible pagado al productor, denominado Ingreso al productor, se ajusta cada mes teniendo en cuenta los precios internacionales de las materias primas y del metanol. A continuación se presenta la estructura de precios para el mes de septiembre de 2011, tomado de la página web del Ministerio de Minas y Energía.

Cuadro.9 Precio piso (\$ / GALÓN) 6957,83

Precio tomando como referencia el precio del aceite interno en Colombia

Precios internacionales (US\$/ton)

Fecha	Aceite de Palma CIF Rott (\$us/ton)	Aceite de Soya FOB Arg (\$us/ton)	Sebo Fancy CIF Rott (\$us/ton)	Estearina de palma FOB Mal (\$us/ton)	ponderación
5-ago	1100	1240	1300	930	10%
12-ago	1070	1220	1260	890	20%
19-ago	1075	1240	1260	890	30%
26-ago	1075	1250	1260	875	40%
Precio Promedio ponderado	1077	1240	1264	888	100%

Fuente: esta investigación

Cálculo de los Indicadores de precios para las operaciones de estabilización del Fondo de Estabilización de Precios (FEP)

Indicador de precio para el mercado de Colombia

Indicador de paridad de importación palma (IPMccpo)= **1073**
Arancel aplicado: 0,0%

Indicador de paridad de importación soya (IPMcsbo)= **1240**
Arancel aplicado: 0,0%

Indicador de paridad de importación sebo (IPMsf)= **1264**
Arancel aplicado: 0,0%

Indicador de paridad de importación estearina (IPM ep)= **958**
Arancel aplicado 0,0%

Cuadro.10 Indicador de precio paridad de importación mercado de Colombia Mínimo entre

Costo de importación del aceite de palma crudo	1.073,31
Costo de importación de canasta de sustitutos	1.141,30
Indicador de Precio aceite de palma Colombia (US\$/ton)	1.073,31
Tasa de cambio	1.784,70
Indicador de Precio aceite de palma Colombia (\$col/ton)	1.915.523,14
Indicador de Precio aceite de palma Colombia (\$col/galón)	7.144,01

Fuente: esta investigación

Cuadro.11 Tasa Representativa del Mercado (TRM)

TRM	
22-ago	1779,05
23-ago	1779,86
24-ago	1781,91
25-ago	1791,61
26-ago	1791,05
TRM	1.784,70

Fuente: Banco de la República

FACTOR EFICIENTE DE PRODUCCIÓN (US\$ /TON)	177
FACTOR EFICIENTE DE PRODUCCIÓN (US\$/ GALÓN)	0,58
FACTOR EFICIENTE DE PRODUCCIÓN (\$/ GALÓN)	1.042,15
PRECIO CONTRATO DEL METANOL (US\$/TON)	420
PRECIO SPOT DEL METANOL (US\$/TON)	400,0
PRECIO DEL METANOL (US\$/TON)	613
FACTOR DE UTILIZACIÓN DEL METANOL (US\$/TON)	73,6
FACTOR DE UTILIZACIÓN DEL METANOL (US\$/GALÓN)	0,24
FACTOR DE UTILIZACIÓN DEL METANOL (\$/GALÓN)	433,11
INGRESO AL PRODUCTOR DEL BIOCOMBUSTIBLE (\$/GALÓN)	9.619,28

Mediante la Ley 939 de 2004 se declaró exento del impuesto a las ventas y del impuesto global, el biocombustible de origen vegetal o animal para uso en motores diesel de producción nacional con destino a la mezcla con ACPM.

“A pesar que la regulación del precio promueve la producción de biodiesel, el alto nivel de beneficios tributarios y económicos que reciben los productores puede ser también un limitante para el incremento de la mezcla, debido a que el aumento en la proporción de biodiesel generaría un acrecentamiento en el costo económico para el gobierno si desea mantener los actuales estímulos tributarios”.³⁵

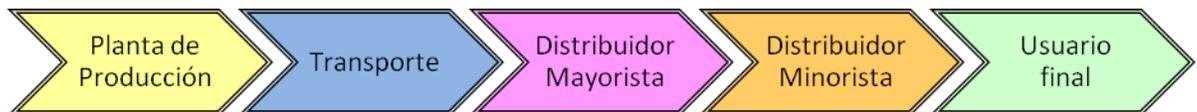
³⁵UPME, 2009

6.5 COMERCIALIZACION DEL BIODIESEL

Para la distribución del producto se implementarán dos canales de distribución según el sector al que se dirija y según la reglamentación establecida.

6.5.1 Sector de Transportes. El canal de distribución que se utilizará para comercializar el producto será similar al que se sigue para la distribución de combustibles fósiles según ECOPETROL S.A. con la diferencia de que el punto de inicio será la planta de producción. Desde allí, será transportado hasta el distribuidor mayorista y seguirá la cadena hasta el usuario final. La figura 10 muestra la cadena de distribución.

Figura 2. Cadena de distribución para el sector de transportes

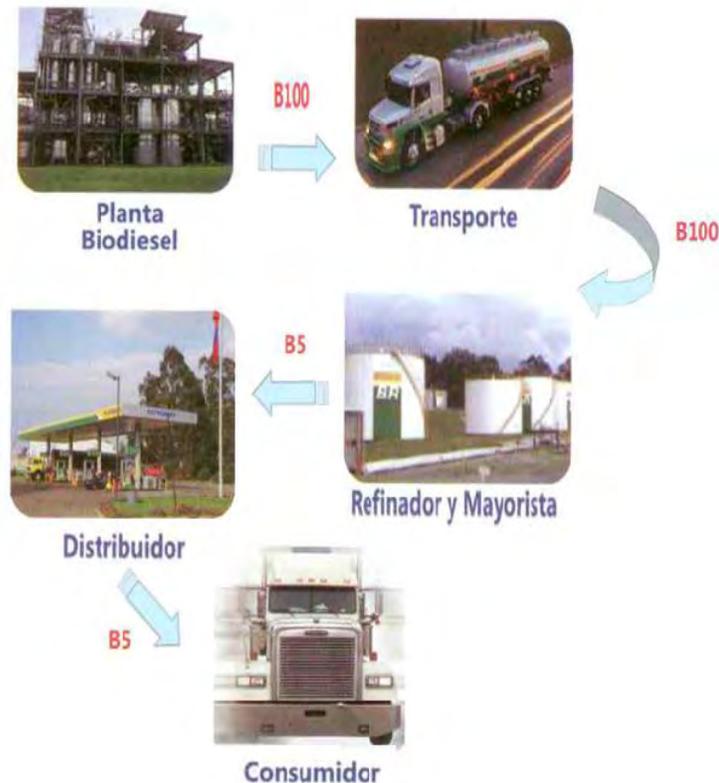


Fuente: esta investigación

Luego de la obtención de biodiesel puro en la planta de transesterificación deberá ser transportado vía terrestre en camiones tanques hacia una refinería o una planta de almacenamiento de un distribuidor mayorista que son los agentes a quienes les es autorizado hacer la mezcla y las actividades previas antes de que el producto salga al mercado. Las plantas de almacenamiento más cercanas se encuentran en los departamentos de la Valle del Cauca y Putumayo.

Así pues, con la ficha técnica del producto este podrá ser negociado con uno de los distribuidores mayoristas mencionados, quienes se encargaran de realizar las mezclas de combustible. El nuevo producto una vez cumpla las exigencias de calidad, se despachará por oleoducto o carro tanque a sus usuarios en igual forma que se hace hoy en día.

Figura 3. Cadena de distribución de biodiesel para el sector de transporte



Fuente: esta investigación

La figura 3, muestra la cadena de comercialización a seguir desde la planta de producción hasta el consumidor final.

6.5.2 Sector de Generación Eléctrica. En este caso, la cadena de distribución a seguir iniciará en la planta de producción de donde el producto será transportado en carro tanques hasta el usuario final, esto es las plantas de generación eléctrica en los municipios identificados, previa autorización del ministerio de minas y energía.

Figura 4. Cadena de distribución para el sector de generación eléctrica



Fuente: esta investigación

6.6 ESTRATEGIAS DE MERCADEO

A pesar de ser un producto de gran demanda nacional, se han propuesto estrategias que nos permitan acceder al mercado de los biocombustibles, puesto que es producto obtenido de materias primas no convencionales.

6.6.1 Producto. El proceso de transesterificación de aceite vegetal usado da origen al producto principal, esto es el biodiesel, y adicionalmente un subproducto que también será comercializado por la empresa.

- **Biodiesel:** cumple con todos los parámetros de calidad especificados por la norma NTC 5444, apto para la mezcla con diesel convencional para utilizarse en cualquier motor diesel en todos los sectores que lo requieren, tanto vehicular como industrial en general.
- **Glicerina:** la glicerina obtenida, sin ningún tratamiento posterior a la recuperación de alcohol, se destinará a la venta para la producción de alimentos balanceados para animales como glicerina cruda.

El biodiesel se manipulará cumpliendo con las buenas prácticas en el manejo de biocombustibles, cuidando en cada parte del proceso de conservar la calidad del producto, así como en el almacenamiento y transporte hasta el cliente.

Esta será nuestra principal estrategia, lograr un producto de conformidad con las normas y en las condiciones establecidas, de esta manera se asegura el ingreso del biodiesel al mercado nacional. Para asegurar su calidad, este será certificado por un tercero acreditado por el Ministerio para tal fin.

Fortalezas:

- Bajo costo de la materia prima.
- Buena imagen, ya que se presenta como una alternativa para la eliminación de un residuo alimentario, contribuyendo a la conservación del medio ambiente.
- Manejo de BPM para el productor de biocombustible, que permiten asegurar la calidad del biodiesel en todos los puntos del proceso.

Debilidades:

- Dificultades para ingresar al mercado, ya que será una empresa nueva en medio de productores que tienen amplia participación en el mismo.
- Falta de experiencia en el mercado de los combustibles.

Dentro de la estrategia de producto se incluye la marca, slogan y logo.

Marca.NEODIESEL

Slogan. “Una Alternativa Eco-Energética”

Figura 5. Logo de la empresa



Fuente: esta investigación

El biodiesel se vende a granel, transportado vía terrestre en carro tanques hasta la planta de distribución donde se almacena para su adecuación y posterior distribución. Todo producto que se despacha de planta cuenta con su respectivo certificado de análisis del lote y cada 4 meses se toman pruebas completas al biodiesel y se envía copia del certificado de cumplimiento de parámetros al Minminas.

Como estrategia adicional se propone un servicio post venta de para conocer sus impresiones sobre el producto, garantizando la calidad del mismo y proyectando una imagen de confianza para el cliente.

6.6.2 Precio. La fijación del precio se hará cubriendo los costos de producción y de acuerdo a la estructura del precio conocida como Ingreso al productor, este puede variar entre un mínimo y un máximo conocidos como precio piso y precio techo del biocombustible.

6.6.3 Distribución. La distribución física del producto se hará a través del siguiente mecanismo.



Productor. Es el primer participante de la cadena, corresponde a la planta de transesterificación del aceite.

Transportador. Será una empresa certificada para transportar este tipo de sustancias, que cuente con todos los registros exigidos por las entidades gubernamentales. De esta manera se mantiene la calidad del producto desde el punto de fabricación hasta el cliente.

Cliente. Es el distribuidor mayorista, agente autorizado para comprar biodiesel para mezcla con ACPM y comercializarlo como combustible para vehículos.

En cuanto a la distribución la venta del producto se hará directamente en planta mayorista, no se comercializará en la planta de producción.

6.6.4 Promoción. Uno de los medios a utilizar será la creación del portafolio de productos, este será un folleto informativo donde el cliente pueda conocer la empresa, sus procesos, sus productos y características de calidad, sus servicios y todo lo relacionado a ella, buscando despertar el interés y dar una buena presentación de la empresa.

En este sentido se plantean estrategias de relaciones públicas y publicidad del producto, ya que es una nueva empresa y el producto se desarrolla a partir de una materia prima no convencional, por tanto es importante dar a conocer todas las particularidades del producto a fin de lograr introducirse en el mercado.

Relaciones públicas. Se refiere a mantener el contacto y las buenas relaciones con los clientes a través de visitas, llamadas y correos electrónicos para comunicar, informar o recordar sobre el producto a los clientes y de esta manera inducir o motivar la compra. Será de gran importancia como un primer acercamiento al cliente potencial.

Publicidad. Se propone la creación de una página web y boletines impresos sobre el reciclaje de aceites usados, los beneficios ambientales de los biocombustibles así como los avances logrados por la empresa, entre otros temas de interés para lograr una imagen positiva en el sector de los biocombustibles.

6.6.5 Presupuesto mezcla de mercadeo. El costo de realizar la mezcla de mercadeo se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Presupuesto mezcla de mercadeo

Concepto	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Pagina Web	1	\$200.000	\$200.000
Boletines informativos trimestrales	4	\$10.000	\$40.000
Portafolio de productos	50	\$3.000	\$150.000
Visitas y llamadas telefónicas	10	-	\$810.000
<i>Valor Total Anual</i>			\$1'200.000

Fuente: esta investigación

6.7 CAPACIDAD DE ABASTECIMIENTO

6.7.1 Materia Prima.

Aceite Vegetal Usado: el aceite vegetal usado es un residuo de la industria de alimentos, principalmente del sector de transformación y el de restauración. Para determinar la cantidad de materia prima que se puede recolectar en la ciudad de San Juan de Pasto y municipios aledaños, se realizó una encuesta dirigida a los establecimientos comerciales de interés.

Diseño Metodológico: para analizar la disponibilidad de materia prima se realizaron encuestas telefónicas a los lugares donde se expende alimentos preparados por procesos de fritura. Para este fin se solicitó una base de datos del sector de empresas transformadoras de alimentos en la Cámara de Comercio de San Juan de Pasto e Ipiales de donde se tomaron los números de teléfono para tal fin.

Localización: el estudio se realiza en la ciudad de San Juan de Pasto, lugar donde se desarrollará el proyecto. También se incluyeron algunos municipios y poblaciones aledaños como Chachagüí, Ipiales, Túquerres, El Tambo y Buesaco, considerándose como proveedores potenciales teniendo en cuenta su cercanía y facilidad de acceso por vía terrestre. Se omitieron lugares como Nariño y El Encano porque no se encontraron registros de establecimientos comerciales con los que pudiera realizarse el sondeo.

Marco Muestral: el área de aplicación del estudio será los establecimientos comerciales registrados en Cámara de Comercio a abril de 2011 ubicados en la ciudad de Pasto y los municipios mencionados. Se establece que hasta la fecha se encuentran matriculados 1.102 establecimientos de transformación y expendio de alimentos.

Población: es el conjunto de unidades de las cuales se desea obtener información. En este caso la población objeto de estudio son los establecimientos comerciales de expendio a la mesa de productos preparados en restaurantes y cafeterías, y los de elaboración de pasabocas fritos. Según los archivos de Cámara de Comercio de Pasto e Ipiales los establecimientos que desarrollan dicha actividad inscritos hasta abril de 2011 son en total 876, discriminados en el cuadro 10.

Cuadro 13. Población para levantamiento de encuestas

Municipio	Establecimientos Comerciales		
	Restaurantes	Cafeterías y Loncherías	Elaboración de Pasabocas Fritos
Pasto	341	245	11
Chachagüí	19	3	0
Ipiales	169	48	4
Túquerres	18	7	1
El Tambo	5	2	0
Buesaco	2	1	0
TOTAL	554	306	16

Fuente: esta investigación

Encuesta: es un instrumento de investigación aplicado sobre una muestra de sujetos que representa un colectivo más amplio para levantar la información necesaria utilizando procedimientos estandarizados de interrogación con el fin de conseguir mediciones cuantitativas sobre una gran cantidad de características objetivas y subjetivas de la población. El cuestionario elaborado para el estudio se encuentra en el anexo A.

Muestra: la muestra es la parte de las unidades de la población a partir de las cuales se harán inferencias o los pronósticos. El muestreo se aplicó solamente en los casos de Pasto e Ipiales que tenían una población mayor a 100 establecimientos comerciales, en los demás lugares se realizó la encuesta a la totalidad de negocios registrados.

Para seleccionar a los individuos que conformarían este grupo se escogió primero aquellos que en su razón social sugirieran el uso de aceite de fritura como son las ventas de pollo a la broaster, alimentos fritos y comidas rápidas, luego se aplicó el muestreo aleatorio simple al grupo restante para completar el número de la muestra. Este tipo de muestreo estadístico permite que todos los individuos tengan la misma posibilidad de ser seleccionados.

Para determinar el tamaño de la muestra poblacional se utilizó el siguiente estimador.

$$n = \frac{N * Z^2 * (P * Q)}{(N - 1)e^2 + Z^2 * (P * Q)}$$

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = nivel de confianza, tabla de distribución normal= 1,96

e = nivel de error máximo = 0,05

$Q.P$ = probabilidad de éxito o fracaso $P= 0,5$ y $Q=0,5$

Al aplicar la formula se obtuvo el tamaño de muestra para restaurantes y cafeterías en la ciudad de Pasto y de Ipiales, como se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 14. Muestra de la población a encuestar

Municipio	Establecimientos Comerciales				
	Restaurantes	Muestra	Cafeterías y Loncherías	Muestra	Elaboración de Pasabocas
Pasto	341	181	245	150	11
Ipiales	169	117	43	43	4
Túquerres	16	16	7	7	2
Chachagüí	15	15	3	3	0
Buesaco	6	6	4	4	0
El Tambo	5	5	4	4	0
TOTAL	552	340	306	211	17

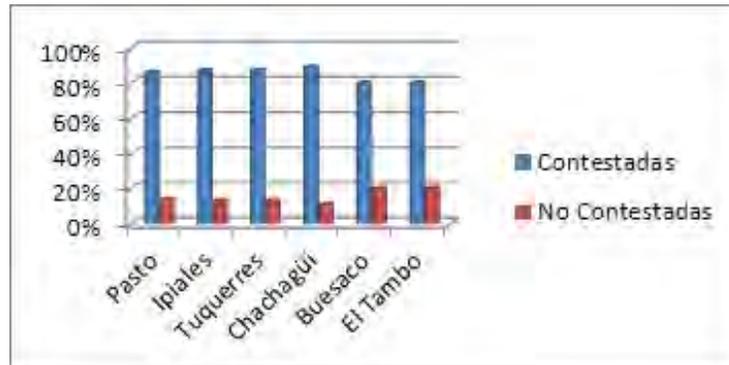
Fuente: esta investigación

En total se realizaron 568 encuestas en el estudio.

Análisis de la Información obtenida: se realizaron 6 preguntas para determinar la cantidad, tiempo de uso y disposición final del aceite de fritura principalmente. A continuación se presenta la información suministrada por los encuestados.

- Cantidad de Llamadas telefónicas por lugar

Gráfica 5. Llamadas telefónicas por lugar



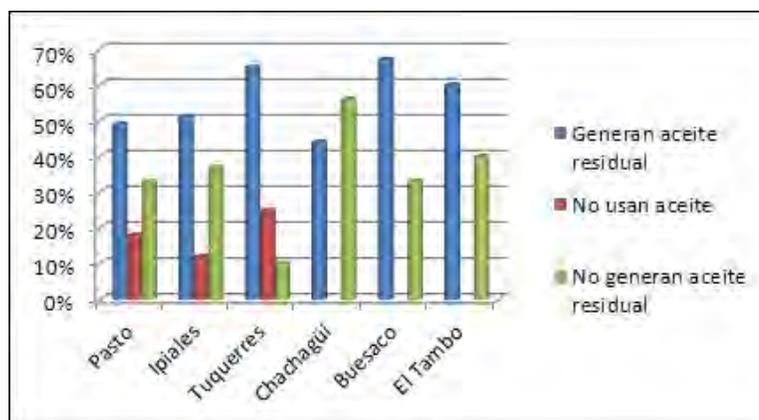
Fuente: esta investigación

En general, se contó con una buena recepción por parte de los entrevistados, pese a que es natural que haya cierta desconfianza en una encuesta telefónica se puede observar que se pudo recolectar la información de más del 80% de la población prevista.

Las llamadas no contestadas hacen referencia no solo a los rechazos por parte del encuestado si no también incluye números equivocados y fuera de servicio. Este es un inconveniente de la entrevista telefónica, pues los registros de números de teléfono que se entregan en cámara de comercio, no se escriben correctamente o se obvian.

- Disposición de Aceite

Gráfica 6. Disposición del aceite



Fuente: esta investigación

En esta pregunta se buscó conocer que parte de los establecimientos encuestados generan aceite de desecho ya que es la materia prima para el

proyecto, sin embargo también sirve para determinar el manejo que cada uno de ellos hace del aceite. Se observa que la mayoría de establecimientos en cada lugar desecha aceite de fritura usado.

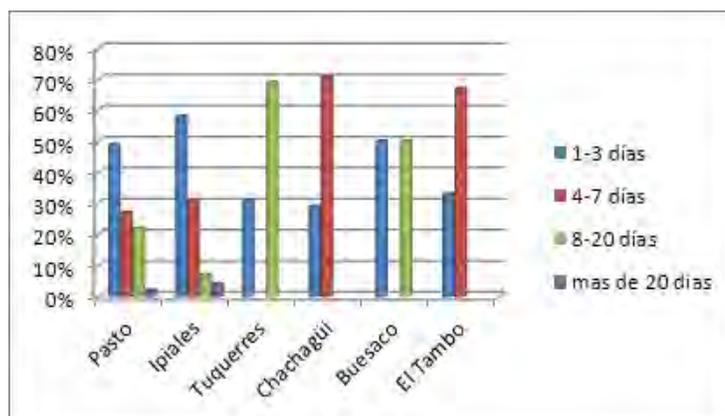
Entre los encuestados que aseguran no utilizar aceite se encuentran cafeterías que no elaboran productos fritos como es el caso de algunas panaderías y pastelerías y en otros casos son lugares donde no se utiliza aceite vegetal si no otros productos para fritura como por ejemplo manteca.

Por último, quienes afirmaron no generar aceite de fritura residual corresponden a establecimientos que usan el aceite hasta que este se consume por completo, algunos de ellos contestaron que por la cantidad tan baja de aceite que utilizan en la elaboración de desayunos por ejemplo, solo gastan la cantidad que se consume en la fritura, por ello el aceite no se desperdicia, pero muchos otros son restaurantes, locales de venta de pollo broaster y comidas rápidas.

En estos casos el mal uso del aceite se convierte en un problema de salud, ya que los cambios en el aceite por el tiempo y la temperatura dan lugar a la saturación, polimerización y oxidación de los ácidos grasos, aumentando el riesgo de ocasionar enfermedades cardiovasculares y cancerígenas en el consumidor.

- Tiempo de uso del aceite

Gráfica 7. Tiempo de uso del aceite



Fuente: esta investigación

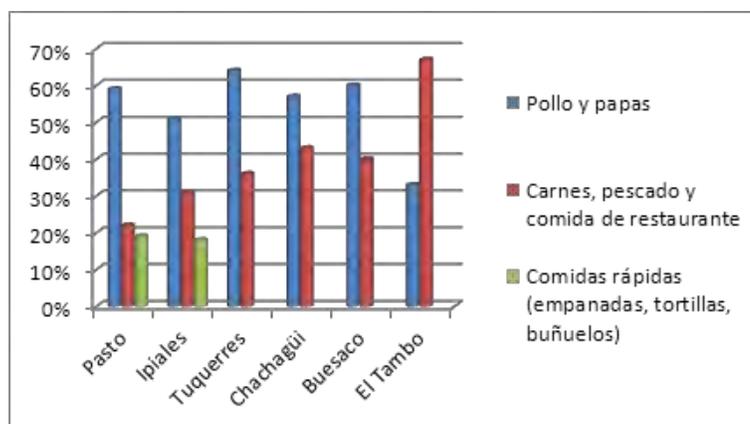
Con esta pregunta se busca investigar la degradación del aceite de fritura disponible. Se puede observar que no hay una respuesta homogénea en cuanto al tiempo de uso del aceite, sino que cada uno dispone del mismo a su propio criterio. Por lo tanto la materia prima que se recolecte tendrá diferente grado de deterioro y características disimiles. Es necesario decir que en este aspecto influye

la cantidad utilizada por cada negocio, pues quienes requieren grandes cantidades de aceite en sus procesos de fritura tienden a utilizarlo por más tiempo.

Con esta información también se puede conocer las prácticas de higiene y manejo del aceite de fritura que se siguen en restaurantes y expendios de comida, en general mantienen una frecuencia de uso menor a una semana, sin embargo es de notar que existen establecimientos que prolongan la utilización del aceite por más de tres semanas. Una de las razones por las que esto sucede es porque durante el proceso de fritura se añade aceite nuevo al usado a medida que se va consumiendo, sin embargo esto reduce la eficiencia del aceite, resultando en tiempos de cocción más prolongados y en una mayor absorción de grasa por parte del alimento.

- Tipo de alimentos freídos en el aceite

Gráfica 8. Tipo de alimentos freídos en el aceite



Fuente: esta investigación

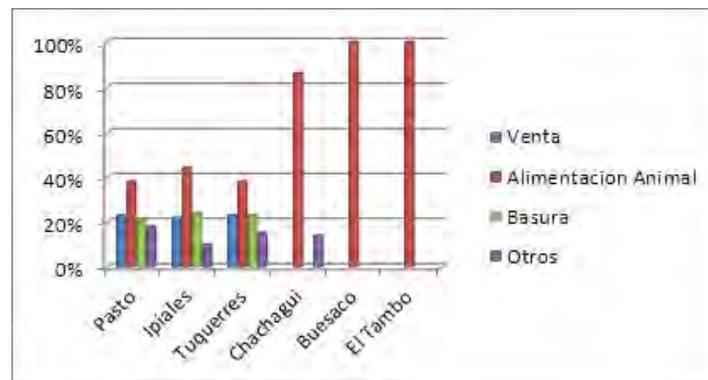
Esta pregunta se incluyó con el fin de deducir el estado del aceite, ya que el alimento que se fríe tiene gran incidencia en los procesos de degradación. En general un alimento de superficie muy húmeda favorecerá los procesos de hidrólisis y la formación de espuma, con la consiguiente aceleración de la oxidación. Es el caso de las papás fritas, normalmente estas se mantienen sumergidas en agua antes de la fritura.

Como se puede observar, los alimentos que más se fríen en el aceite corresponden a pollo y papas, principalmente en ventas especializadas de este tipo, seguido por carnes y comida de restaurantes y finalmente comidas rápidas. En el caso del pollo y las carnes, aunque son alimentos que mantienen gran cantidad de agua en su superficie son acondicionados antes de ser sometidos al

proceso de fritura por medio de enharinados y/o rebozados de otro tipo disminuyendo la humedad que aportan al medio de fritura.

- Destino del aceite usado

Gráfica 9. Destino del aceite usado



Fuente: esta investigación

En cuanto a la disposición final del aceite se obtuvieron diversas respuestas, comprobando que cada establecimiento dispone de los residuos a su parecer. Los que afirman vender el aceite no siempre conocen la destinación del mismo, algunos usos industriales son la fabricación de velas, jabones y alimento balanceado para animales. En la categoría “Otros” se agrupó usos tales como prender carbón o madera, elaboración de aderezos y salsas y recuperación del aceite y se incluyó a quienes contestaron que lo regalan.

El uso más generalizado como se puede observar es el de la alimentación animal, principalmente en los municipios donde no se ha desarrollado algún uso industrial. Esta práctica no está totalmente reglamentada, le corresponde al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) vigilar por la adecuada alimentación de los animales destinados a sacrificio para consumo humano, en el Artículo 14 de la resolución N° 002640 se describen las Buenas Prácticas para la Alimentación Animal, en el inciso b) se menciona “Cuando se utilicen subproductos de la industria alimenticia, productos y subproductos de cosecha se debe garantizar que no representen riesgos para la salud de los animales y para la inocuidad de los productos que se obtengan”³⁶.

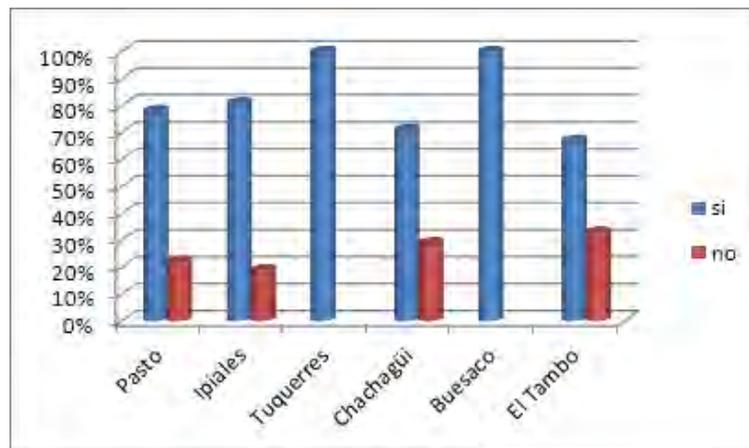
El uso de aceites de fritura usados se ha prohibido en varios países europeos por asociarse a enfermedades zoonóticas como la gripa aviar y la encefalopatía bovina, conocida como enfermedad de las vacas locas. En Colombia, existe un

³⁶Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) Normatividad. [en línea]. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/Normatividad/Normas-Ica/Resoluciones.aspx?page=3>

proyecto de acuerdo (Nº 329 de 2009 del concejo de Bogotá) por el cual “se establecen las condiciones técnicas para el manejo, almacenamiento, transporte, utilización y la disposición de aceites vegetales de fritura usados”³⁷ entre otras disposiciones, se espera que con el tiempo se regularice completamente en todo el territorio nacional.

- Disposición a vender el aceite

Gráfica 10. Disposición a vender el aceite



Fuente: esta investigación

La mayor parte de establecimientos comerciales encuestados indicaron su disposición a vender el aceite de fritura usado, los casos en que manifestaron lo contrario se debió a razones como existencia de acuerdos y contratos para la venta con terceros y el uso propio del residuo para alimentación de animales.

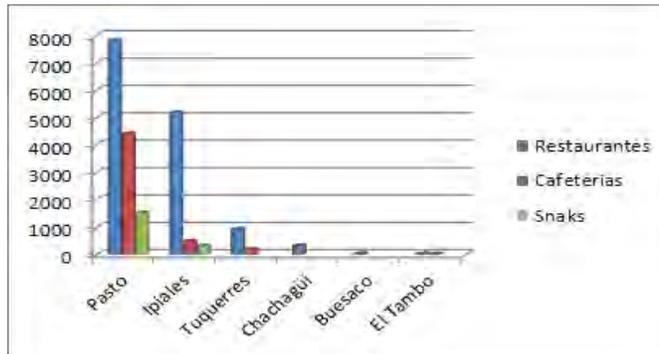
Podemos decir que se cuenta con un buen potencial de proveedores de materia prima para el proyecto.

- Cantidad mensual disponible

Teniendo en cuenta la cantidad de residuos de cada venta de alimentos se calculó la cantidad estimada de aceite usado (L/mes) que se puede recolectar en cada uno de los municipios encuestados.

³⁷BOGOTÁ D.C. ALCALDIA MUNICIPAL. PROYECTO DE ACUERDO Nº. 329 DE 2009: Bogotá D.C.[en línea]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37110>

Gráfica 11. Cantidad mensual disponible



Fuente: esta investigación

Como se puede observar, la mayor cantidad de aceite usado se recolecta en la ciudad de Pasto, que por el tamaño de la población presenta el mayor número de establecimientos comerciales. De acuerdo al tamaño de la muestra se estimó la cantidad de litros que se pueden obtener para el abastecimiento del proyecto en total se recogerían alrededor de 22.300 litros mensuales.

- Precio de venta

El precio de venta promedio del aceite usado esta alrededor de \$500 por litro, aunque muchos de los establecimientos comerciales no venden el aceite actualmente por lo tanto se podría acordar un precio más bajo.

Recolección de la materia prima: del estudio anterior concluimos que es necesario promover en los diferentes establecimientos la comercialización del aceite residual, incentivando el acopio y manejo adecuado para generar un ingreso extra.

La operación de recolección se realizará cada semana en la ciudad de Pasto y cada dos semanas en las ciudades aledañas, según los acuerdos que se fijen con los proveedores.

Para esta operación se contará con dos vehículos contratados de empresas de transportes como servicios de piagio.

6.7.2 Insumos. En el proceso de producción se requieren 3 insumos químicos: Metanol, Hidróxido de Sodio y Acido fosfórico. La cantidad requerida de estos insumos no está disponibles en la ciudad por lo cual deben ser traídos desde diferentes lugares.

- **Metanol:** el metanol (CH_3OH), es un líquido incoloro, volátil e inflamable. Constituye un insumo fundamental para la producción debiodiesel, ya que es el responsable de la transesterificación del aceite.

Este alcohol no tiene una alta producción en Colombia por lo cual se hace necesaria su importación. La empresa INTERQUIM S.A. ubicada en Medellín, produce metanol a pequeña escala y a un costo elevado, por lo que el abastecimiento para producción de biodiesel se hace a través de la importación.

El abastecimiento de alcohol se hará a través de la empresa C.I. ACEPALMA S.A. En caso de que se presenten inconvenientes, como segunda opción se tiene la organización Elementos Químicos Ltda., la cual tiene sede en la ciudad de Cali y puede proveer hasta 7.000 litros mensuales.

Puesto que el biodiesel en el país se ha desarrollado principalmente a partir del aceite de palma, es este sector el que se ha organizado para manejar el comercio de insumos y productos relacionados con sus actividades. C.I. ACEPALMA S.A. es una institución creada por la Federación Nacional de Cultivadores de Palma FEDEPALMA, especializada en las operaciones comerciales del sector palmero a nivel nacional e internacional, entre sus actividades, se encarga de la comercialización de los insumos agrícolas más importantes para el cultivo de palma de aceite y también de los principales insumos industriales para las plantas de biodiesel.

- **Insumos químicos:** son sustancias que intervienen indirectamente en el proceso, se requieren en menor cantidad por tanto el abastecimiento se realizará a través de proveedores comerciales de insumos químicos. Como primera opción está Elementos Químicos Ltda., con la cotización más baja entre las empresas consultadas.

6.7.3 Legislación en transporte y comercialización de insumos. Los insumos requeridos se clasifican como sustancias peligrosas por lo cual se necesita un certificado especial para su comercialización que es expedido por la Dirección Nacional de Estupefacientes (DNE), en especial en el caso del metanol.

7. ESTUDIO TÉCNICO

En el desarrollo del estudio técnico se definieron aspectos como: localización, tamaño, proceso de producción, infraestructura y distribución en planta. Se incluyeron aspectos económicos de las anteriores variables tanto para la inversión física como para la operación del proyecto.

7.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA

7.1.1 Macrolocalización. El proyecto será desarrollado en la ciudad de Pasto, ya que por ser el municipio más grande en el departamento aporta la mayor cantidad de materia prima y presenta ventajas técnicas frente a otros municipios tales como su posición geográfica, prestación de servicios en general, vías de acceso y comunicaciones.

7.1.2 Microlocalización. Para determinar la microlocalización de la infraestructura se analizó principalmente las características de la industria para enmarcarla en los lineamientos establecidos en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Pasto.

De acuerdo a las características del proyecto, la infraestructura física debe localizarse en un área de suelo suburbano de actividad II que según el Art. 34 del Dec. 0084 del 5 de Marzo de 2003, son suelos donde predomina la actividad agropecuaria en correlación con la actividad urbana, perteneciendo a esta categoría los corredores viales regionales y corregimentales, las cabeceras corregimentales y las zonas contiguas a ellas. En los corredores regionales y corregimentales se permitirán los usos comerciales y de servicios e industriales de mediano y alto impacto.

En el Art. 115 del mismo decreto se clasifican las actividades incluidas dentro del uso industrial del suelo en el cual se pueden ubicar establecimientos destinados a actividades de transformación, producción, ensamble y elaboración de materias primas para la fabricación de bienes o productos materiales.

Específicamente el ítem 4, uso agroindustrial, maderero y de construcción, se define como el uso industrial del suelo donde se permiten desarrollar actividades relacionadas con la transformación de productos agropecuarios, cría y/o levante de especies mayores y menores y, el almacenamiento y venta de maderas en gran escala.

El proyecto se enmarca en esta descripción ya que la actividad que se planea desarrollar consiste en la transformación de materias primas agropecuarias que implica un impacto ambiental medio debido al uso de insumos químicos.

Teniendo en cuenta estos aspectos, la planta de producción se ubicará en el corredor vial regional perteneciente al corregimiento de Catambuco, este se sitúa sobre la vía panamericana, a 8 Km al sur de la ciudad de Pasto.

Cuadro 15. Corregimiento Poblado de Catambuco

DATO	DESCRIPCIÓN
Nombre:	Corregimiento de Catambuco
Cabecera Corregimiento:	Catambuco Centro
Localización:	Sur de la ciudad de Pasto
Posición Astronómica:	1° 15' y 1° 20' Latitud Norte 77° 15' y 77° 20' Longitud Oeste
Coordenadas Geográficas:	X = 975.000 y 980.000 m E. Y = 620.000 y 625.000 m N.
Cartográfico IGAC	Plancha No. 420 Escala 1:100.000 – D 8
Información Catastral:	Predios Urbanos y Predios Rurales
Limites:	Norte: Jongovito Sur-Este: San Juan Occidente: Botana y Botanilla
Área del Corregimiento:	Total: 00.00 Has. Centro poblado 00.00 Has. Rural: 00.00 Has.
Población: DANE 2004	Población Total: 12.250 hab. Población Centro poblado: - hab. Población Rural: - hab.
Densidad Total:	29 hab./Km ² .
Ecosistemas Estratégicos:	Quebradas Catambuco, Botanilla, Cubiján, Ríos Chapal y Guachucal, Cerro Campanero, Laguna Negra y Parque Galeras
Altura (Cabecera):	2.820 m. s. n. M.
Temperatura (Cabecera):	12° C.
Piso Térmico:	Frío
Producción Agrícola:	Trigo, cebada, maíz, papa, hortalizas.
Distancia a Pasto:	8 kilómetros
Fundación:	Posesión y localización sobre territorio indígena Quillacinga



Fuente. Diagnóstico de Centros Poblacionales www.revistaescala.com

Esta zona cuenta con servicios públicos básicos como energía eléctrica, agua potable, alcantarillado, red telefónica, recolección de basuras y vías de acceso asfaltadas, lo que facilita el funcionamiento de la empresa.

7.2 INGENIERÍA DEL PROYECTO

7.2.1 Selección del procedimiento. Para la obtención del producto se determinó seguir el método de catálisis básica del aceite, en el cual se requiere alcohol y un catalizador básico para producir la transesterificación. Este proceso requiere la ausencia de agua en la materia prima, y reactivos, para evitar la hidrólisis en el reactor con la consecuente formación de jabones a partir del catalizador y de los ácidos grasos libres.

7.2.2 Selección de Insumos.

- **Alcohol:** el alcohol escogido para la reacción es el metanol. Entre más corta sea la cadena de carbonos del alcohol, mayor es la velocidad de reacción; este fenómeno es llamado efecto estérico y es la principal razón por la cual se elige el metanol, ya que es el alcohol más sencillo con un solo átomo de carbono. Las características generales de este alcohol se mencionan en el cuadro 13.
- **Catalizador:** el catalizador escogido fue el hidróxido de sodio (NaOH) ya que posee algunas ventajas sobre otras sustancias catalíticas como el hidróxido de potasio (KOH) permitiendo mayor rendimiento en la reacción, menor solubilidad en agua y mayor pureza del alquiléster obtenido. Sus ventajas se basan en que las velocidades de reacción son más altas, es fácil de conseguir en el mercado, y las sustancias generadas en las etapas de purificación, debido a la presencia del hidróxido, son fáciles de retirar o no presentan inconvenientes como impurezas incluidas en los productos.

Cuadro 16. Datos físicos del metanol

DATOS FÍSICOS DEL METANOL	
Estado físico	Líquido
Aroma	Ligero aroma a alcohol
Umbral de aroma (ppm)	2,000
Inicio de irritación (ppm)	1,000
Apariencia	Clara sin color
Gravedad específica	0.792
Punto de congelamiento(K)	175.35
Punto de ebullición normal (K)	337.65
Presión de vapor a 293.15 K (Pa)	12,800
Densidad de vapor a 288.15 K	1.105
Tasa de evaporación (acetato de butilo = 1)	2.1
Peso molecular	32.04
Volátiles, porcentaje por volumen (%)	100
Solubilidad en agua a 293.15 K	Soluble
pH	No aplicable
Calor de combustión(KJ/mol)	723
Calor de vaporización (KJ/mol)	39.2
Punto de inflamación (K)	285.15
Temperatura de auto ignición (K)	737.15

Fuente: Modificado de "Methanol data sheet en: <http://www.ull.chemistry.uakron.edu/edr>"

7.2.3 Desarrollo del Producto. Antes de iniciar con el proceso de obtención de biodiesel, es necesario conocer algunas propiedades fisicoquímicas del aceite que se va a utilizar, puesto que por ser un subproducto sus características han sido alteradas por factores como temperatura, luz, humedad, oxidación entre otros, causando la degradación de los ácidos grasos.

Esto afecta la reactividad química del aceite, puesto que favorece reacciones químicas como la saponificación y la hidrólisis, por lo que es necesario una caracterización fisicoquímica de la materia prima para conocer propiedades como densidad, índice de yodo, índice de saponificación e índice de acidez. De esta manera podemos determinar la cantidad de insumos químicos necesarios a utilizar en el proceso de producción, especialmente la cantidad de catalizador.

Los procedimientos de las pruebas de laboratorio descritas a continuación se relacionan en el anexo B.

Inicialmente se realiza la operación de filtración para retirar residuos de alimentos que pueda contener el aceite debido al proceso de fritura. Así mismo, se

determina la densidad del aceite para realizar los cálculos en base al peso de la materia prima.

El índice de yodo es una medida de la insaturación total de las grasas que solamente contienen enlaces dobles aislados, un valor bajo nos indica que el aceite posee ácidos grasos saturados que no absorben el yodo. “Este valor es importante porque el proceso seleccionado para la producción de biodiesel destruye únicamente alrededor del 10% de los insaturados, lo cual es desventajoso en el producto final, pues éste tipo de enlaces disminuyen el número de cetano. De manera tal, que si el aceite utilizado tiene un índice de yodo alto, el biodiesel producido tenderá a reducir su número de cetano”.³⁸.

El índice de saponificación es una medida de la cantidad de álcali requerida para saponificar un determinado peso de grasa, generalmente viene expresado como el número de mg de NaOH necesarios para saponificar un gramo de grasa. Este valor está relacionado con el peso molecular medio de la grasa y es útil para la identificación de muestras desconocidas y para la estimación de la composición de mezclas grasas. Este valor también es de gran utilidad para calcular el peso molecular aproximado del aceite, lo cual sería útil para establecer un diseño de experimentos del aceite a partir de la relación molar aceite/alcohol.

El índice de acidez se define como el número de mg de NaOH que se requieren para neutralizar los ácidos grasos libres (AGL) contenidos en un gramo de grasa. Se recomienda que el valor ácido de un aceite para obtención de biodiesel sea menor al 1%, de no ser así, es necesario añadir un exceso de base para neutralizar los AGL para que estos no interfieran en la reacción de transesterificación.

- **DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN**
- **Mezcla alcohol/catalizador:** se pesa la cantidad de base requerida para cada ensayo y se adiciona al metanol para obtener el metóxido que reaccionaría con el aceite. Para facilitar la mezcla, se somete a agitación.

³⁸CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓNUPME – INDUPALMA – CORPODIB. PROGRAMA ESTRATÉGICO PARA LA PRODUCCIÓN DEBODIESEL - COMBUSTIBLE AUTOMOTRIZAPARTIR DE ACEITES VEGETALES: Aspectos económicos de la implementación de la tecnología de producción de biodiesel a partir de aceite de palma. Bogotá, D.C., Enero 14 de 2003[en línea]. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/.../Biodiesel/Capitulo%208.pdf>

Figura 6. Preparación del Metóxido de Sodio



Fuente: esta investigación

- **Reacción de transesterificación:** la mezcla alcohol–catalizador y aceite, se vierte en un balón de fondo plano que se coloca en una plancha calefactora a la temperatura indicada y con agitación magnética para dar lugar a la reacción de transesterificación.

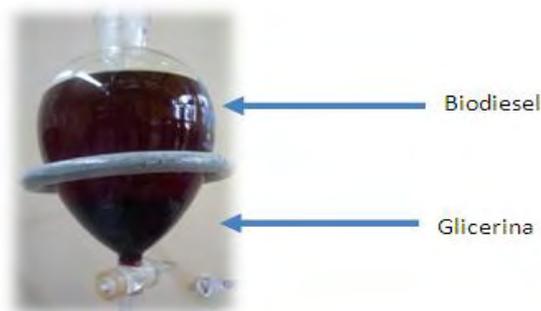
Figura 7. Reacción de Transesterificación



Fuente: esta investigación

- **Separación:** al finalizar la reacción se coloca el producto en embudos de separación durante varias horas. Por decantación, la glicerina que es más oscura y densa forma una capa inferior y los alquilesteres (biodiesel) forman una capa superior, de manera que al cabo de algunas horas ya se distingue claramente las dos fases y los productos pueden ser separados.

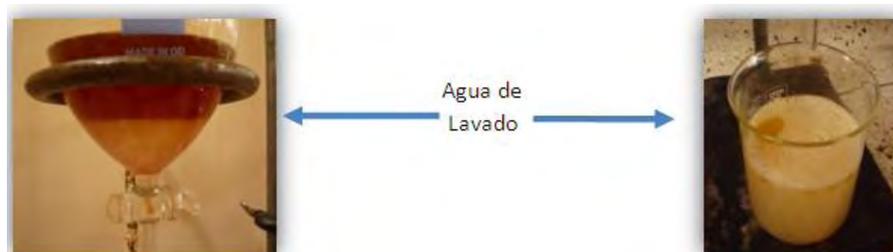
Figura 8. Separación por decantación



Fuente: esta investigación

- **Lavado del biodiesel:** una vez separado el biodiesel de la glicerina, el biodiesel fue lavado con agua con el fin de retirar los residuos de metanol y jabones formados por las reacciones secundarias. La cantidad de agua que se adicionó fue aproximadamente la tercera parte del biodiesel obtenido, a 70 °C. Se hicieron cuatro lavados, hasta que el agua de lavado saliera más clara, lo cual indicaba la eliminación de las impurezas presentes en el biodiesel.

Figura 9. Lavado con agua a 70°C



Fuente: esta investigación

- **Secado del biodiesel:** a continuación el biodiesel obtenido se lleva al rotaevaporador, a fin de eliminar el remanente de agua. El Rotaevaporador es un equipo utilizado para la concentración de sustancias, consta de un baño maría con agua o aceite cristal que se lleva hasta la temperatura deseada, en este se sumerge un balón que contiene la sustancia a purificar sostenido por un brazo que gira a una velocidad determinada. Conectado al balón se encuentra un condensador de reflujo que permite que los componentes que se volatilizan sean recogidos en un balón secundario adherido a un lado del condensador.

Figura 10. Secado de biodiesel



Fuente: esta investigación

- **Filtración del biodiesel:** finalmente, el biodiesel seco se filtra para eliminar residuos de catalizador y otras impurezas. Para mejorar su fluidez se calienta hasta una temperatura de 70 °C.

Figura 11. Filtración a vacío



Fuente: esta investigación

Pruebas de Experimentación Inicial: en el cuadro 14 se describen las características fisicoquímicas del aceite de fritura. Estas características varían en cada muestra, por lo cual las que se indican a continuación corresponden a una de las que se utilizó durante el desarrollo del proceso.

Cuadro 17. Características fisicoquímicas del Aceite

Propiedad	Unidades	Muestra
Densidad a 22 °C	g/mL	0,916
Índice de Yodo	g yodo/100 g	23,415
Índice de Saponificación	mg de NaOH/g	116,961
Índice de Acidez	mg de NaOH/g	2,184

Fuente: esta investigación

El índice de yodo es una prueba indicativa del número de insaturaciones del aceite es decir cuántos enlaces dobles hay en su estructura. En este caso, el índice de yodo indica un bajo número de insaturados puesto que la absorción de yodo es mínima. Esto indica que el aceite se encuentra saturado, posiblemente como consecuencia de la termooxidación que sufre durante el proceso de fritura que ocasiona el rompimiento de los dobles enlaces.

Los aceites que poseen un índice de yodo tan bajo suelen considerarse grasas vegetales, tal como el aceite de palmiste cuyo índice de yodo oscila entre 20 y 25 gr de yodo/gr, pero, si bien no contienen dobles enlaces en su estructura, la longitud de la cadena de ácidos grasos les permite ser líquidos a temperatura ambiente.

En este particular, debemos inferir que aunque el bajo índice de yodo puede ser favorable para la reacción de transesterificación, también nos indica que el aceite ha sufrido la degradación de sus ácidos grasos y por ello puede contener aldehídos, cetonas y otras sustancias químicas que afectarían las propiedades del biodiesel, como el número de cetano o el poder calorífico.

El índice de saponificación es menor que los valores promedio de aceites vegetales sin usar, lo que nos indica que el aceite se saponificará con mayor facilidad y que debido a la temperatura y el número de frituras los triglicéridos se han descompuesto. Con base en el índice de saponificación calculamos el peso molecular promedio del aceite así:

$$I.S. = \frac{3 * 40 * 1000}{M} \rightarrow M = \frac{120000}{I.S.} = 1025,97 \frac{g}{mol}$$

Nuevamente podemos observar como el peso molecular del aceite se ha incrementado como consecuencia de la separación de los triglicéridos, mientras que el peso molecular de un aceite nuevo está entre los 700 y 800 g/mol.

De la misma manera, el índice de acidez señala la presencia de ácidos grasos libres, como se determinó en la prueba anterior, lo cual favorece la formación de jabones que dificultan la separación del biodiesel. Para disminuir su efecto negativo, se adicionará un exceso de base a la cantidad de catalizador para neutralizar los ácidos grasos libres.

Otro procedimiento consiste en realizar una esterificación previa de los ácidos grasos libres, sin embargo esta operación implica cambios en la presión de reacción, por lo tanto se propone seguir el proceso convencional.

Con base en los reportes bibliográficos y en experiencias obtenidas previamente, se realizaron algunos montajes experimentales para definir las variables a incluir

en el proceso. En estos ensayos se buscó medir los efectos de la temperatura, la agitación y el porcentaje de alcohol sobre la reacción, a fin de interpretar como interactúan dichas variables entre sí. El porcentaje de catalizador (0,5%) y el tiempo de reacción (1.5 horas) fueron determinados en ensayos previos a este estudio, donde se encontró que porcentajes mayores de catalizador favorecían el desarrollo de reacciones secundarias y en el tiempo de reacción establecido los productos de la reacción eran observables.

Temperatura: se realizaron 2 ensayos a temperatura ambiente y alta velocidad de agitación con dos cantidades diferentes de alcohol tomadas como referencia según las investigaciones consultadas. El objetivo fue verificar el efecto de la temperatura sobre la reacción y su interacción con la velocidad de agitación, en relación con el porcentaje de alcohol.

Cuadro 18. Cantidades de Alcohol

Temperatura	% Alcohol
Ambiente	20
Ambiente	40

Fuente: esta investigación

a. En el primer ensayo se produce una masa gelatinosa producto de la saponificación de la grasa que se ve favorecida por la baja cantidad de alcohol debido a que la reacción de transesterificación es inestable por su reversibilidad y la de saponificación es una reacción secundaria que se produce con las mismas sustancias químicas.

Figura 12. Formación de Gel



Fuente: esta investigación

b. En el segundo ensayo la reacción no se efectúa, se observa una emulsión debido a la agitación del sistema pero no se observan los productos de alguna reacción química.

Agitación: a continuación se fijaron dos límites de temperatura y se utilizó las mismas cantidades de alcohol que en el caso anterior, ahora buscando evaluar el

efecto de la agitación sobre la reacción. Se obtuvo un diseño factorial 2^3 , para un total de 8 experimentos.

Cuadro 19. Diseño Factorial 2^3

Factor	Nivel	
Temperatura	30 °C	50 °C
Alcohol	20 %	40 %
Agitación	+	-

Fuente: esta investigación

El signo positivo (+) o negativo (-) en la agitación hace referencia a la aplicación o no de esta acción. De estas pruebas se obtuvieron los siguientes resultados.

a. En los cuatro ensayos donde no se aplicó la agitación la reacción no se llevó a cabo, las fases de alcohol y aceite permanecen hasta el final del tiempo de experimentación (1.5 horas), como se indica en la figura 14^a.

b. En los cuatro ensayos con agitación la reacción si se llevo a cabo para los dos niveles de temperatura y de alcohol, sin embargo en los ensayos donde se utilizó el nivel inferior de alcohol, al transcurrir el tiempo de decantación la glicerina se solidifica, haciendo muy difícil la separación de los productos. En la figura 14b se observa como la glicerina permanece fija mientras el embudo de separación se gira hacia la izquierda.

Figura 7. Resultados ensayos con agitación y temperatura

a. Fases alcohol/aceite b. Solidificación de la glicerina c. Separación de fases



Fuente: esta investigación

Por último, se incrementó la cantidad de alcohol para asegurar que este factor no incida negativamente en la reacción y se evaluaron diferentes temperaturas. El objetivo fue determinar si había algún nivel de temperatura a la cual la reacción se produjera sin necesidad de agitación, para ello se realizaron cuatro ensayos a 50, 60, 70°C y a una temperatura superior que no se definió, si no que se sometió a calentamiento en una estufa sin control de temperatura haciendo que permanezca en ebullición. Para estos ensayos se utilizó un condensador de reflujo para evitar las pérdidas de alcohol por evaporación.

Figura 14. Evaluación de diferentes temperaturas sin agitación del sistema



Fuente: esta investigación

Como resultado de esta evaluación se obtuvo una reacción incompleta al final del tiempo establecido, donde se podía observar como la capa superior de alcohol iba oscureciéndose a medida que se mezclaba con los ácidos grasos para formar los alquilésteres. Esto nos indica que la reacción se realiza muy lentamente por lo que se requiere un tiempo más prolongado para que se complete, de manera que aún la ebullición de la mezcla no puede reemplazar el efecto de la agitación.

Esta experimentación previa aportó información necesaria para plantear un diseño de experimentos en condiciones que aseguren la realización de la reacción de transesterificación, así mismo escoger los factores y los niveles que se evaluarían para optimizar el rendimiento de la reacción, teniendo en cuenta las conclusiones que se consiguieron en esta etapa como se mencionan a continuación.

- La temperatura facilita la reacción de transesterificación, por lo tanto es preciso que el sistema sea sometido a calentamiento.
- La agitación promueve el contacto entre los reactivos mejorando la eficacia de la reacción.
- La alta temperatura no reemplaza el efecto de la agitación y viceversa, ambos factores influyen en la reacción química y son imprescindibles. Sin embargo se pudo observar que a medida que se incrementa la temperatura se potencia el efecto de la agitación, lo cual disminuye la velocidad necesaria para acelerar la reacción.
- La temperatura por encima del punto de ebullición del alcohol no mejora la reacción sin el efecto de la agitación, por lo tanto a una temperatura menor y la adición de este factor se lograría el mismo resultado. Además, si se trabaja con altos niveles de temperatura se necesita incluir un sistema de reflujo para evitar las pérdidas de alcohol por volatilización.

- La agitación se vuelve ineficaz sin la adición de temperatura, por lo tanto aunque es un factor necesario e importante no se requiere una alta velocidad puesto que afectaría la reacción de la misma manera y se desperdiciaría de energía.

Con estas consideraciones se puede definir los límites de los factores en el diseño de experimentos para evaluar su incidencia sobre el rendimiento y propiedades del producto buscando la optimización de los insumos.

Diseño Experimental: las condiciones experimentales que se fijaron para el desarrollo del diseño experimental se relacionan en el cuadro 17. Las razones por las que se escogieron tales valores ya se mencionaron anteriormente.

Cuadro 20. Condiciones experimentales constantes

Factor	Valor
Catalizador (NaOH)	0,5 %
Velocidad de Agitación	500 rpm
Tiempo de Reacción	1.5 horas

Fuente: esta investigación

Al porcentaje de NaOH se le adicionó una cantidad exceso para neutralizar los ácidos grasos libres (AGL) de la muestra que se calculó con base en el índice de acidez del aceite.

Aceite $\rho = 0,9180 \text{ g/mL}$

$$\text{Aceite} = 200 \text{ mL} * 0,9180 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 183,6 \text{ g}$$

$$183,6 \text{ g} * 0,5\% = 0,918 \approx 0,92 \text{ g de NaOH}$$

$$\text{Indice de Acidez} = 0,985$$

0,985 mg de NaOH neutralizan los AGL presentes en un gramo de aceite, entonces

$$\text{Peso de NaOH} = \frac{0,985 \text{ mg NaOH} * 183,6 \text{ g aceite}}{1 \text{ g aceite}} = 180,85 \text{ mg} = 0,18 \text{ g NaOH}$$

$$\text{Peso de NaOH} = 0,92 + 0,18 = 1.1 \text{ g}$$

El diseño planteado involucra la variación de dos factores, la temperatura y la cantidad de alcohol, se establecieron 3 niveles de temperatura y 4 de cantidad de alcohol según las consideraciones que se analizaron previamente. Este es un diseño factorial multinivel con 1 replica, para un total de 24 experimentos.

Cuadro 21. Niveles de Factores Experimentales

Factor	Nivel			
Temperatura (°C)	30	40	50	
Alcohol (%)	30	35	40	45

Fuente: esta investigación

Variables de Respuesta: para determinar las mejores condiciones de reacción se evaluó el rendimiento del proceso, a demás se midieron dos de sus propiedades fisicoquímicas, la densidad y el valor ácido, para ser comparadas con los rangos establecidos en la norma NTC 5444 – Biodiesel para uso en motores diesel. Especificaciones.

• RESULTADOS

Descripción Cualitativa del Producto: en ninguna de las corridas experimentales se obtuvo geles en suspensión, en todas se observa la separación de las fases. Después de la etapa de lavado, se observa que el biodiesel adquiere una coloración blanquecina y opaca debido a que una parte del agua de lavado es retenida por el metilester. Una vez que se efectúa el secado, el biodiesel luce transparente y brillante.

El biodiesel tiene una coloración marrón similar al color del aceite empleado, es ligeramente más claro, tiene mayor brillo y es traslúcido.

La glicerina no fue tratada posteriormente a la separación, es de color marrón más oscuro que el metilester.

Figura 15. Biodiesel y glicerina



Fuente: esta investigación

Debido a la presencia del catalizador básico (hidróxido de sodio) el pH del biodiesel es elevado siendo necesario realizar una neutralización hasta pH 7 agregando un ácido mineral durante el lavado. Las normas internacionales para

este tipo de combustible establecen este valor como óptimo, de lo contrario se podrían producir daños en los conductos, mangueras y motor del vehículo. Además durante el lavado se eliminan restos de glicerina, jabón y otras impurezas que reducen el poder calorífico del biocombustible.

Se probaron dos ácidos con el fin de neutralizar el combustible: ácido acético y ácido fosfórico. Estos se seleccionaron teniendo en cuenta las recomendaciones de la literatura, en esta operación también se utilizó agitación, los resultados obtenidos fueron:

- **Ácido Acético:** después del lavado la muestra presenta un color amarillento, se observan partículas en suspensión, el pH baja hasta el punto deseado y se realiza nuevamente un lavado con agua para arrastrar las partículas y eliminar el olor característico del ácido. Sin embargo al evaporar la muestra, vuelven a observarse partículas en suspensión.
- **Ácido Fosfórico:** la muestra presenta una buena sedimentación, las sales formadas precipitan hasta el fondo, son de color marrón oscuro, el pH baja hasta el punto deseado y se añade agua para arrastrar los sedimentos.

Después de hacer los ensayos con cada uno de los ácidos y observar los resultados, se determinó utilizar ácido fosfórico para la neutralización del biocombustible durante el lavado.

Descripción Cuantitativa del Producto: a continuación se presenta los resultados obtenidos para el Rendimiento, Densidad e Índice de Acidez.

Rendimiento: en el cuadro 20 se observa el rendimiento en peso del biodiesel final en base a la masa total inicial en cada corrida experimental.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso final (gr)}}{\text{Peso inicial (gr)}} * 100$$

Densidad: el cuadro 20 muestra los resultados obtenidos en cuanto a la densidad del biodiesel. Estos se compararon con la NTC 5444, que contiene las especificaciones del biodiesel para motores diesel. Dichos requisitos se citan en el cuadro 19.

La corrección de la densidad a 15°C se realiza aplicando la siguiente ecuación:

$$\rho \text{ corregida} = \rho \text{ leida} + 0,00068 * (T^\circ \text{ leida} - T^\circ \text{ corregida})$$

Cuadro 22. Especificaciones de Biodiesel para Densidad y Valor Acido

Propiedad	Unidades	Requisito
Densidad a 15°C	kg/m ³	860 - 900
Valor Acido	mg NaOH/g	0,5 máximo

Fuente: NTC 5444.

Índice de Acidez: este valor se calculó utilizando la siguiente la ecuación. Los valores se registran en el cuadro 20.

$$I.A = \frac{40 * (Vm - Vb) * N}{Q}$$

Donde, Vm = volumen (mL) de NaOH gastado en la titulación de la muestra

Vb= volumen (mL) de NaOH gastado en la titulación del blanco

N = normalidad del NaOH

Q = peso de la muestra (g)

Cuadro 23. Resultados para Rendimiento, Densidad e Índice de Acidez

Nº	Temperatura(°C)	Alcohol (%)	Rendimiento (%)	Densidad a 22°C (g/mL)	Densidad a 15°C (Kg/m ³)	Número Acido (mg NaOH/g)
1	30	30	72,6	0,869	872	0,320
2	40	30	73,6	0,871	874	0,368
3	50	30	77,9	0,870	874	0,334
4	30	35	65,5	0,872	875	0,312
5	40	35	71,1	0,868	872	0,379
6	50	35	76,3	0,867	871	0,367
7	30	40	72,1	0,864	867	0,311
8	40	40	74,9	0,868	871	0,336
9	50	40	74,9	0,872	876	0,323
10	30	45	72,1	0,872	875	0,368
11	40	45	78,3	0,878	881	0,313
12	50	45	74,6	0,877	880	0,397
13	30	30	70,5	0,881	884	0,302

Continuación cuadro 20

Nº	Temperatura (°C)	Alcohol (%)	Rendimiento (%)	Densidad a 22°C (g/mL)	Densidad a 15°C (Kg/m ³)	Número Acido (mg NaOH/g)
14	40	30	72,7	0,881	885	0,299
15	50	30	77,1	0,889	892	0,311
16	30	35	66,4	0,887	890	0,310
17	40	35	76,7	0,882	886	0,387
18	50	35	81,2	0,889	892	0,388
19	30	40	73,3	0,884	887	0,390
20	40	40	77,1	0,884	887	0,389
21	50	40	80,2	0,882	885	0,395
22	30	45	69,4	0,879	882	0,395
23	40	45	71,6	0,881	885	0,390
24	50	45	79,4	0,879	882	0,396

Fuente: esta investigación

Podemos observar que todos los valores de densidad y de índice de acidez se encuentran dentro de los rangos establecidos. Para el análisis estadístico se empleó el software STATGRAPHICS Plus 5.1, el cual nos permite observar el efecto de las variables estudiadas (temperatura y cantidad de alcohol) sobre el rendimiento del proceso, la densidad y el número ácido del biodiesel obtenido. Condiciones para el análisis estadístico

- Nivel de confianza: 95%
- Nivel de significancia (α): 0,05

Este procedimiento realiza un análisis multifactorial de la varianza para el porcentaje de rendimiento, la densidad y el índice de acidez. De esta manera se determina si los factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las variables de respuesta. Los valores P de la tabla ANOVA, permiten identificar los factores significantes, si el valor P es menor al nivel de significancia, tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el proceso.

Cuadro 24. Análisis de Varianza para Porcentaje de Rendimiento

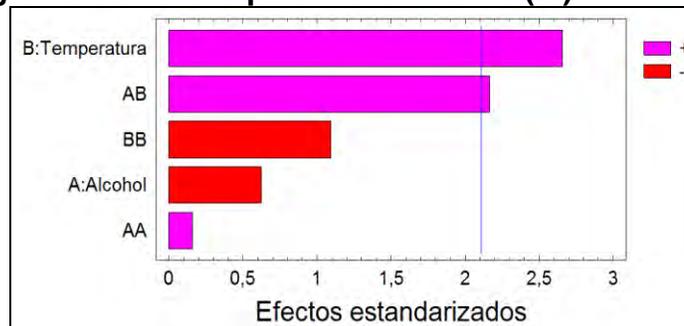
Análisis de la Varianza para Rendimiento					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Alcohol	2,38008	1	2,38008	0,39	0,5410
B:Temperatura	43,2306	1	43,2306	7,07	0,0165
AA	0,150417	1	0,150417	0,02	0,8772
AB	28,6801	1	28,6801	4,69	0,0448
BB	7,28521	1	7,28521	1,19	0,2903
Bloques	189,844	1	189,844	31,05	0,0000
Error Total	103,949	17	6,11467		

Total (corr.)	375,52	23			
R-cuadrado = 72,3185 por ciento					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 64,6292 por ciento					
Error Estándar de Est. = 2,47279					
Error absoluto de la media = 1,71083					
Estadístico Durbin-Watson = 2,81006 (P=0,0032)					
Autocorrelación residual Lag 1 = -0,410199					

Fuente: esta investigación

Con los p-valores que se calcularon en el análisis de varianza para el porcentaje de rendimiento se comprueba la hipótesis nula para la cantidad de alcohol, es decir, no hay diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro porcentajes utilizados en cuanto a rendimiento, mientras que se rechaza la hipótesis de igualdad para la temperatura y para la interacción entre factores. Esto se puede observar en el gráfico de Pareto presentado en la gráfica 12.

Gráfica 12. Diagrama de Pareto para Rendimiento (%)

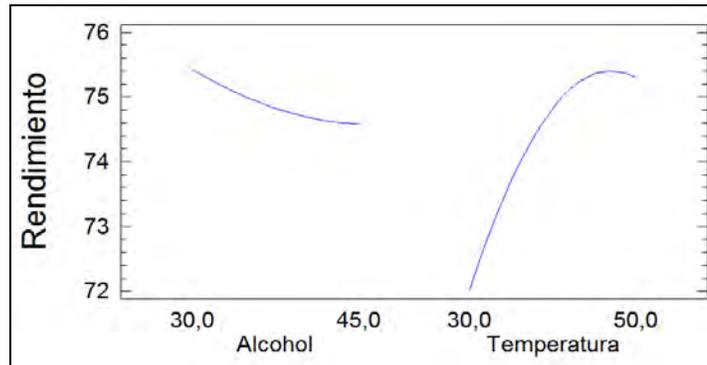


Fuente: esta investigación

La temperatura tiene efecto positivo, lo que quiere decir que el rendimiento aumenta a medida que se incrementa la temperatura, mientras que disminuye con el porcentaje de alcohol, aunque este factor no alcance una diferenciación estadística tal como se indica en la gráfica.

De igual manera se puede observar en la gráfica 13, sobre los efectos principales, que el rendimiento tiende a disminuir a medida que aumenta la cantidad de alcohol. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que cuando se emplea una cantidad mayor, la densidad del biodiesel disminuye, por lo que se obtienen mayores pérdidas en el lavado lo cual hace que el rendimiento sea más bajo; entre mayor sea la cantidad de alcohol remanente, la fase biodiesel aumentará su solubilidad en el agua de lavado, afectando directamente el rendimiento.

Gráfica 13. Gráfico de efectos principales para Rendimiento

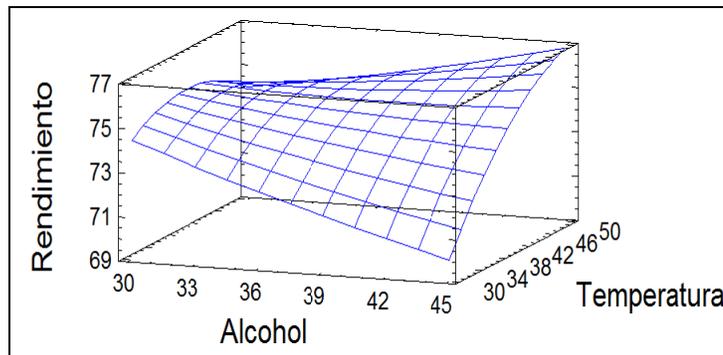


Fuente: esta investigación

Por otra parte, la temperatura actúa positivamente sobre el rendimiento, esto indica que a medida que se aumenta la temperatura se facilita la reacción química. Sin embargo, es un factor que debe controlarse puesto que al acercarse más a la temperatura de ebullición del metanol se ocasionan pérdidas por volatilización.

La interacción entre cantidad de alcohol y temperatura causa un efecto importante sobre el rendimiento ya que cada factor actúa de forma inversa sobre la reacción. Esta relación entre factores aporta información necesaria para decidir cuáles serán las mejores condiciones de reacción en cuanto a rendimiento. Para ello se empleó el gráfico de superficie de respuesta estimada.

Gráfica 14. Superficie de Respuesta Estimada



Fuente: esta investigación

La gráfica de superficie de respuesta muestra el punto óptimo en los niveles más altos de alcohol y temperatura, sin embargo teniendo en cuenta que el porcentaje de alcohol no es un factor significativo y considerando la conveniencia económica de utilizar menor cantidad de este insumo, se concluye respecto al rendimiento que es factible trabajar con porcentajes bajos de metanol a la temperatura más

alta del diseño de experimentos sin que se tenga una incidencia estadística importante.

Para determinar la cantidad de alcohol se analizó su efecto sobre las otras variables de respuesta, sin embargo cabe resaltar que todos los resultados en cuanto a densidad e índice de acidez se encontraron dentro del rango permitido para dichos parámetros.

Cuadro 25. Análisis de Varianza para Densidad

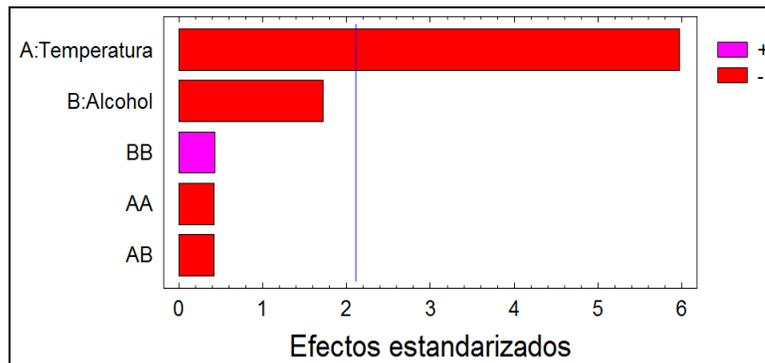
Análisis de la Varianza para Densidad					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	203,063	1	203,063	35,62	0,0000
B:Alcohol	16,875	1	16,875	2,96	0,1035
AA	1,02083	1	1,02083	0,18	0,6775
AB	1,0125	1	1,0125	0,18	0,6787
BB	1,04167	1	1,04167	0,18	0,6744
bloques	2,04167	1	2,04167	0,36	0,5574
Error Total	96,9042	17	5,70025		

Total (corr.)	321,958	23			
R-cuadrado = 69,9016 por ciento					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 61,541 por ciento					
Error Estándar de Est. = 2,38752					
Error absoluto de la media = 1,61875					
Estadístico Durbin-Watson = 2,76583 (P=0,0127)					
Autocorrelación residual Lag 1 = -0,425406					

Fuente: esta investigación

En el análisis de varianza para la densidad observamos que solo uno de los p-valor es menor que 0,05, que corresponde a la temperatura, de manera que este factor causa un efecto sobre la densidad que es significativo estadísticamente, mientras que la cantidad de alcohol no produce una variación importante.

Gráfica 15. Diagrama de Pareto estandarizado para Densidad



Fuente: esta investigación

El diagrama de Pareto para densidad indica además que tanto la temperatura como el porcentaje de alcohol tienen efectos negativos sobre la variable de

respuesta, es decir, que cuando la temperatura y la cantidad de alcohol aumentan la densidad tiende a disminuir.

“La densidad da idea del contenido en energía del combustible, mayores densidades indican mayor energía térmica y una energía de combustible mejor”³⁹
Sin embargo cuando la densidad es mayor, se observó que el biodiesel lucía turbio y opaco, evidenciando partículas inmersas en él, por tanto se tuvo en cuenta que además de cumplir con la densidad estipulada tenga una apariencia adecuada.

En cuanto al índice de acidez, el único valor P que es inferior a 0,05 es el que corresponde a la cantidad de alcohol como se observa en el análisis de varianza y en el diagrama de Pareto. Además, al tener un efecto positivo implica que al adicionar más alcohol, el número ácido será mayor.

Cuadro 26. Análisis de Varianza para Índice de Acidez

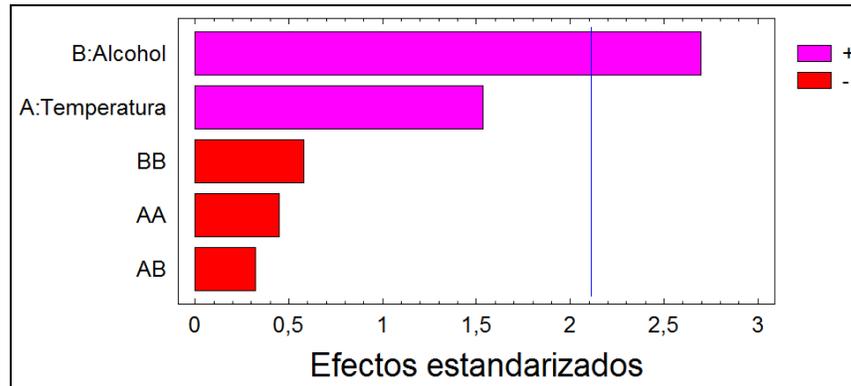
Análisis de la Varianza para Acidez					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0,00257556	1	0,00257556	2,36	0,1429
B:Alcohol	0,00793813	1	0,00793813	7,27	0,0153
AA	0,000221021	1	0,000221021	0,20	0,6584
AB	0,000112812	1	0,000112812	0,10	0,7518
BB	0,000368167	1	0,000368167	0,34	0,5690
bloques	0,00209067	1	0,00209067	1,92	0,1843
Error Total	0,018555	17	0,00109147		
Total (corr.)	0,0318613	23			
R-cuadrado = 41,7634 por ciento					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 25,5865 por ciento					
Error Estándar de Est. = 0,0330374					
Error absoluto de la media = 0,0240972					
Estadístico Durbin-Watson = 1,58337 (P=0,0834)					
Autocorrelación residual Lag 1 = 0,193486					

Fuente: esta investigación

El índice de acidez o número ácido determina el nivel de ácidos grasos que se presentan en el combustible. Si posee un alto grado de acidez se formarán una cantidad importante de depósitos y también se producirá mayor corrosión en el sistema, ya que los ácidos grasos libres contribuyen al aumento del residuo carbonoso y a la formación de jabones que colmatan los filtros del combustible.

³⁹WEARCHECK IBERICA PROFILE. Publicado 22 de noviembre de 2010. [en línea]. Disponible en: <http://www.wearcheckiberica.es>

Gráfica 16. Diagrama de Pareto estandarizado para Índice de Acidez



Fuente: esta investigación

De acuerdo a lo anterior es conveniente usar menores cantidades de alcohol, ya que el índice de acidez será menor, mientras que la temperatura no produce variaciones significativas estadísticamente.

Elección de las Condiciones Óptimas: finalmente teniendo en cuenta el análisis estadístico y pensando en el uso eficiente de alcohol, se determinó que las mejores condiciones corresponden al tratamiento - 0,33; 1, que corresponde a 35% de alcohol y 50° C, puesto que de este modo se obtiene un buen rendimiento y un producto de calidad aceptable.

Sin embargo, para conocer la calidad del metilester como combustible, se obtuvo una muestra en las condiciones elegidas y se envió al Laboratorio de Crudos y Derivados de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional en Medellín, donde se realizaron algunas pruebas de caracterización del biodiesel. Así mismo, se realizó un ensayo en motor en las instalaciones del Centro de Producción Limpia Lope – SENA.

7.2.4. Caracterización del biodiesel. El cuadro 24 muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica del biodiesel. Los métodos de ensayo que se utilizaron se encuentran en el reporte enviado por el laboratorio de Crudos y Derivados de la Universidad Nacional (Anexo C)

Cuadro 27. Propiedades físico-químicas del biodiesel

ANÁLISIS	UNIDADES	NORMA	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Agua y Sedimentos	mg /Kg	ASTM D 96	0,0	500 máximo
Corrosión Lámina de Cobre, 2h a 100° C	Unidad	ASTM D 130	1A	Clase 1
Destilación		ASTM D 86		
Punto inicial de ebullición	°C		307,5	
50% recobrado	°C		334,0	
90% recobrado	°C		350,5	
Punto final de ebullición	°C		354,5	360 máximo
Recobrado	°C		98,0	
Residuo	% Vol		1,2	
Pérdida	% Vol		0,8	
Gravedad API a 60° F (15,56° C)	N/A	ASTM D 287	27,4	
Índice de Cetano	Cetanos	ASTM D 976	44,13	47 mínimo
Poder Calorífico	BTU/Lb (KJ/Kg)	ASTM D 240	16901 (39304)	16000 mínimo
Punto de Inflamación (Pensky- Martens)	°C	ASTM D 93	131,0	120 mínimo
Punto de Fluidez	°C	ASTM D 97	0,0	Reportar
Punto de Nube	°C	ASTM D 94	11,0	Reportar
Residuo Carbonoso Conradson	%P/P	ASTM D 189	1,7	
Viscosidad Cinemática	CSt (mm ² /s)	ASTM D 445	5,826	1,9 – 6,0

Fuente: esta investigación

Los resultados fueron comparados con la NTC 5444 sobre especificaciones para el biodiesel para uso en motores diesel, sin embargo pueden compararse con las normas internacionales de las cuales se obtuvo el procedimiento de análisis. La muestra enviada indica, en general, que el producto tiene una calidad como combustible aceptable.

Las propiedades del biodiesel comercial dependen tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se ha producido; la materia prima proporcionará unas características particulares al combustible.

Agua y sedimentos: el contenido de agua permitido es de 0,05% máximo o 500 mg/Kg. El valor obtenido muestra que el biodiesel se purificó adecuadamente en los procesos de secado y filtración.

Corrosión a la lámina de cobre: se determinó que el nivel de corrosión es el más bajo, nivel o clase 1A, por lo tanto está dentro de la categoría permitida. Según la clasificación de la ASTM para la lámina de cobre, la clase 1A

corresponde a una lámina ligeramente manchada, color naranja claro casi igual que la lámina recientemente pulida, lo cual muestra que el grado de corrosión del biodiesel es aceptable, pues los compuestos corrosivos y/o presencia de ácidos que pueden atacar al cobre o aleaciones de cobre como el bronce son bajos.

Destilación: el biodiesel como el diesel de petróleo, por ser una mezcla multicomponente, no bulle a una temperatura fija sino en un intervalo de temperatura definido por un punto inicial y un punto final. La norma técnica colombiana define el límite de temperatura para el punto final de ebullición.

Se observa que el biodiesel posee una buena calidad ya que el punto inicial de ebullición se encuentra por encima de los 300° C, por lo que el biodiesel es puro y no contiene sustancias volátiles como alcohol residual. En cuanto al punto final, también se encuentra dentro del límite establecido.

Gravedad API.: de sus siglas en inglés *American Petroleum Institute*, este parámetro no se encuentra dentro de los requisitos de la legislación colombiana para biodiesel, se debe reportar para las mezclas ACPM - biodiesel, ya que es una medida que se aplica al petróleo o sus derivados que describe que tan pesado o liviano es, comparándolo con el agua. La fórmula usada para obtener la gravedad API es:

$$\text{Gravedad API} = \frac{141,5}{\text{Gravedad Específica}} - 131,5$$

“La gravedad en °API es equivalente a la densidad y se usa en la industria petrolera mundial. Este es un indicador de su calidad de fluidez y su densidad, cuanto menor es la gravedad API mayor es la densidad, debido a que contiene más fracciones ligeras y menor cantidad de constituyentes pesados. La gravedad específica del agua es 1 y en °API es 10. Los crudos se clasifican, según la gravedad API, por la siguiente escala”⁴⁰:

Extrapesados < 9,9
Pesados 10 – 21,9
Medianos 22,0 – 29,9
Livianos 30 – 39,9
Condensados > 40

De acuerdo a lo anterior, el biodiesel obtenido se clasificaría como Mediano, ya que su gravedad API es de 28°, se encuentra dentro del rango de los combustibles

⁴⁰INDUSTRIA PETROLERA. Determinación de la gravedad API y densidad por el método de hidrómetro y del picnómetro. Actualizado 6 de enero de 2009. [en línea]. Disponible en: <http://industria-petrolera.lacomunidadpetrolera.com/2009/01/determinacin-de-la-gravedad-api-y.html>

diesel que va de 20 a 45° API, es más ligero que el agua y un tanto más pesado que el biodiesel de palma que está alrededor de los 30° API.

Este valor representa algunas ventajas y desventajas, puesto que en cuanto a fluidez y desempeño es mejor que un combustible sea liviano, sin embargo, mientras más liviano sea su valor energético será menor, lo cual quiere decir que el usuario tendrá que usar una mayor cantidad para obtener la misma energía que un combustible más pesado.

Índice de Cetano: es una medida de la calidad de ignición de un combustible e influye en las emisiones de humo y la calidad de combustión. Aunque este valor es inferior al requerido, se encuentra muy cerca al límite. Un bajo índice de cetano conlleva ruidos en el motor, prolongando el retraso de la ignición y aumentando el peso molecular de las emisiones.

Poder Calorífico: cumple con el mínimo establecido por la norma técnica colombiana, lo que indica que tiene buenas características como combustible si se compara con los valores promedio reportados para el biodiesel de aceite de girasol (41.865KJ/Kg) y el de palma (39.832 KJ/Kg).

Punto de Inflamación: este parámetro define generalmente las condiciones de seguridad durante su almacenamiento a temperatura ambiente. En nuestro caso, punto de inflamación cumple con el requerimiento de la norma técnica colombiana (mínimo 120° C) y la norma internacional ASTM D 93 (mínimo 130° C), lo cual indica que el producto no contiene cantidades de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención ni compuestos de media volatilidad como agua.

Punto de fluidez y Punto de nube: para el punto de fluidez la normatividad establece 3°C como máximo, mientras que el punto de nube debe reportarse.

“El punto de nube indica la temperatura a la cual empiezan a precipitar ciertos compuestos del combustible, en tanto que el punto de fluidez es la temperatura más baja en la que un fluido sigue siendo un líquido vertible, es decir todavía se sigue comportando como un fluido”.⁴¹

Cuando la temperatura comienza a bajar, hay un punto en que los esteres metílicos saturados comienzan a cristalizar y el líquido se observa nebuloso. Este es el punto nube o cloudpoint. A medida que la temperatura sigue bajando, el punto en el cual el biodiesel deja de fluir, se le llama punto de fluidez o pourpoint. En algún momento, entre el cloudpoint y el pourpoint, se encuentra el punto de obstrucción del filtro por frío o coldfilterplugpoint que es cuando el combustible ya no puede pasar a través del filtro.

⁴¹COMUNIDAD PETROLERA. Punto de Fluidez. Publicado: mayo de 2010. [en línea]. Disponible en: <http://www.lacomunidadpetrolera.com/showthread.php/379-Punto-de-Fluidez>

Estas temperaturas son un factor crítico en el rendimiento en clima frío para todos los combustibles diesel. La composición química de algunas materias primas para obtención de biodiesel conduce a un B100 que puede tener mayores puntos de enturbiamiento que otros. En este caso, el punto de nube está en 11°C y el de fluidez en 0°C, lo cual le permite un desempeño adecuado para climas fríos, frente al biodiesel de aceite palma que reporta un punto de nube alrededor de los 18°C y de fluidez alrededor de los 11°C.

Esto se debe a la cantidad de esteres saturados como son el palmitato y estearato de metilo, ácidos grasos principales del aceite de palma.

Residuo Carbonoso: este parámetro se usa como medida de la tendencia que tiene un combustible a formar depósitos de carbón en un motor. El valor de residuo carbonoso depende en gran medida del proceso de transesterificación, ya que la formación de carbonilla es provocada por la cantidad de glicéridos, ácidos grasos libres, jabones y residuos catalíticos presentes en la muestra.

En este caso, el residuo carbónico es alto, el cual puede ser reducido si se mejoran las operaciones de separación y lavado para poder eliminar las impurezas que forman estos depósitos.

Viscosidad Cinemática: los resultados en este aspecto también se encuentran dentro de los valores establecidos. El valor mínimo de este parámetro es importante para evitar pérdidas de potencia en el motor, mientras que el valor máximo se limita por consideraciones del tamaño y diseño de los motores y las características del sistema de inyección.

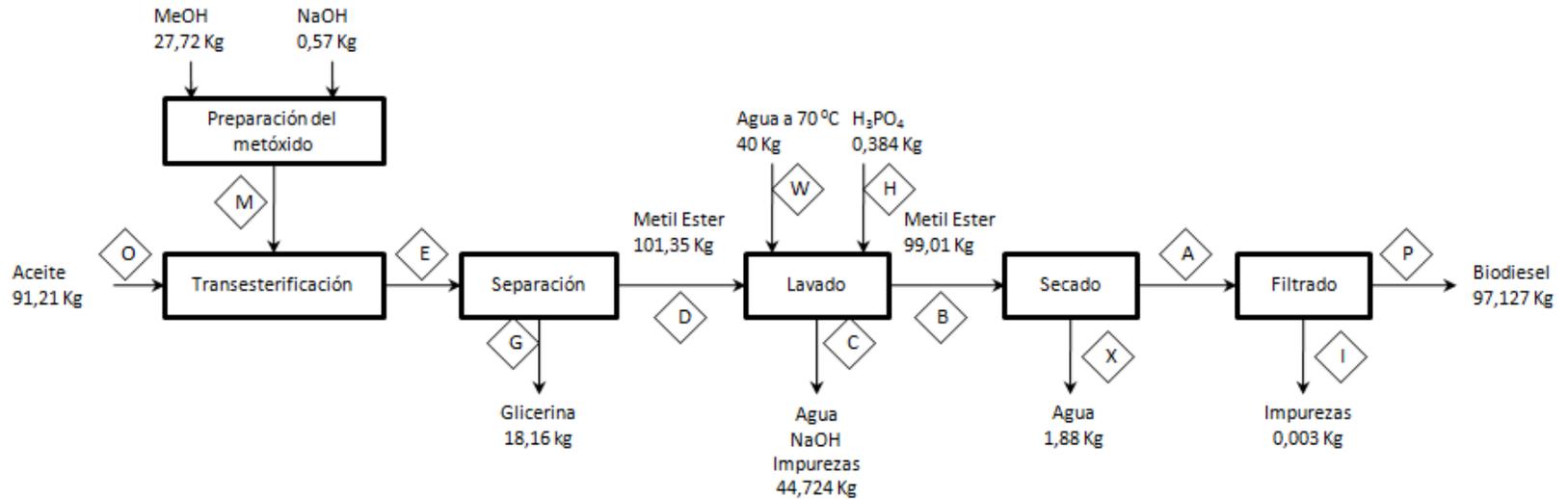
Ahora bien, podemos comprender por qué dependen tanto las características del biodiesel según su origen, pues la composición de los ácidos grasos, longitud y número de insaturaciones, incide en las propiedades fisicoquímicas del producto y más aún en nuestro caso donde el aceite ha sufrido la degradación resultante de las altas temperaturas y la humedad.

Después de las consideraciones hechas, podemos afirmar que se obtuvieron buenos resultados en la caracterización del metilester en el laboratorio, ya que muchos de los parámetros analizados se encontraron dentro de los rangos permitidos.

7.2.5. Balance de materia y energía.

Balance de Materia: para realizar este balance se tomó como base de cálculo 91,21 kg de aceite de fritura. El rendimiento corresponde a un 81% con respecto al peso de la masa inicial, incluyendo todos los insumos.

Figura 16. Balance de materia para la obtención de biodiesel



Corrientes													
	O	M	E	G	D	W	H	C	B	X	A	I	P
Kg	91,21	28,3	119,51	18,16	101,35	40	0,384	42,724	99,01	1,88	97,13	0,003	97,127

Fuente: esta investigación

- **BALANCE GLOBAL**

Entradas:

$$91,21 + 27,73 + 0,57 + 40 + 0,384 = \mathbf{159,894 \text{ Kg}}$$

Salidas:

$$0,003 + 1,884 + 42,724 + 18,16 + 97,127 = \mathbf{159,894 \text{ Kg}}$$

Entradas = Salidas

Balance de Energía. Para los balances de energía se tomará como base de cálculo 91,21 Kg de aceite.

- **Evaporador**

Calor latente: agua se vaporiza a 100 °C, $h_{fg} = 2256,9 \text{ KJ/Kg}$

$$Q_{\lambda} = 1,88 \text{ Kg} * 2256,9 \text{ KJ / Kg} = 4242,72 \text{ KJ}$$

Calores Sensibles: $Q = m \cdot C \cdot dt$ ó $Q = m \cdot dh$

Agua como líquido,

$$h_{60} = 251,1 \text{ KJ/Kg} \quad h_{100} = 419,1 \text{ KJ/Kg} \quad \text{Tablas de vapor, Smith – VannNes}$$

$$Q_S = 1,88 \text{ Kg} (419,1 - 251,1) \text{ KJ/Kg} = \mathbf{315,84 \text{ KJ}}$$

Agua como vapor,

$$h_{100} = 2.696,2 \text{ KJ/Kg} \quad h_{110} = 2.676 \text{ KJ/Kg} \quad \text{Tablas de vapor, Smith – VannNes}$$

$$Q_S = 1,88 \text{ Kg} (2.696,2 - 2.676) \text{ KJ/Kg} = \mathbf{37,98 \text{ KJ}}$$

Calor específico del biodiesel $C_{p \text{ BDL}} = 1,97 \text{ KJ/ Kg}^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{BDL}} = 97,13 \text{ Kg} * 1,97 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (110-60) ^\circ\text{C} = 9.567,31 \text{ KJ}$$

Calor Total

$$Q = \sum Q = 4.292,72 + 37,98 + 315,84 + 9.567,31$$

Q_{TOTAL} = 14.163,85 KJ Para 91, 21 Kg de aceite tratado

$$\rho_{ACEITE} = 0,91 \text{ Kg/L}$$

Al mes

$$22.000 \frac{L}{mes} * 0,91 \frac{Kg}{L} = 20.020 \frac{Kg}{mes}$$

$$Q = \frac{14.163,85 KJ}{91,21 Kg \text{ aceite}} * 20.020 \frac{Kg}{mes} = 3.108.873 \frac{KJ}{mes}$$

Poder calorífico del propano = -46.340 KJ/Kg (Perry, Manual del Ing. Químico)

$$m_{GAS} = \frac{3.108.873 \frac{KJ}{mes}}{46.340 \frac{KJ}{Kg}} = 67,09 \text{ Kg}$$

Gas requerido

Asumiendo pérdidas de calor del 30%

$$m_{GAS} = 67,09 / 0,7 = \mathbf{95,84 \text{ Kg de gas mensual}}$$

- **Lavado**

a) Agua: $h_{l, 60^\circ C} = 251,1 \text{ KJ/Kg}$
 $h_{l, 10^\circ C} = 41,99 \text{ KJ/Kg}$
 $h_{l, 70^\circ C} = 293 \text{ KJ/Kg}$

$$Q_{60} = m (h_2 - h_1) = 1,88 (251,1 - 41,99) = 393,13 \text{ KJ}$$

$$Q_{70} = m (h_2 - h_1) = 38,12 (293 - 41,99) = 9.598,50 \text{ KJ}$$

b) NaOH 0,57 Kg Cp= 1,66 KJ/Kg °C

$$Q_{S, 70} = 1,66 * 0,57 (70 - 10) = 56,77 \text{ KJ}$$

c) Biodiesel 97.137 Kg Cp= 1,97 KJ/Kg °C

$$Q_{S, BDL} = 97.127 * 1,97 (60 - 10) = 9.567,01 \text{ KJ}$$

d) Impurezas: Hay dos pesos para dos temperaturas, 4,034 Kg desde 10 hasta 70 °C y 0,003 Kg desde 10 hasta 60°C

$$Q_{S, 70} = 4,034 * 1,97 (70 - 10) = 476,82 \text{ KJ}$$

$$Q_{S, 60} = 0,003 * 1,97 (60 - 10) = 0,3 \text{ KJ}$$

Calor total en el equipo, ΣQ sensibles

$$Q_{TOTAL} = 393,13 + 9.598,5 + 56,77 + 9.567,01 + 476,82 + 0,3 = 20.062,53 \text{ KJ}$$

Al mes:

$$Q = \frac{20.062,53 \text{ KJ}}{91,21 \text{ Kg aceite}} * 20.020 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} = 4.403.594 \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}$$

$$m_{GAS} = \frac{4.403.594 \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}}{46.340 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} = 95,03 \text{ Kg}$$

Gas requerido

Asumiendo pérdidas de calor del 30%

$$m_{GAS} = 95,03 / 0,7 = \mathbf{135,75 \text{ Kg de gas mensual}}$$

- **Transesterificación**

Puesto que es una reacción química que no tiene una entalpía de reacción estándar, se estimará aproximadamente su calor

Entalpías de formación (Perry)

Glicerina	$H_f^0 = - 5.050 \text{ KJ/Kg}$
Metanol	$H_f^0 = - 6.279 \text{ KJ/Kg}$
Aceite	$H_f^0 = - 11.950 \text{ KJ/Kg}$

Biodiesel (ester)	$H_f^0 = - 12.000 \text{ KJ/Kg}$ (estimada)
Impurezas	$H_f^0 = - 3.070 \text{ KJ/Kg}$ (estimada, igual a la del H_3PO_4)

$$\Delta H_{rxn, 298,15} = \Sigma r_i \cdot \Delta H_f^0$$

$$\Delta H_{\text{rxn}, 298,15} = ((97,127 * -12.000) + (18,16 * -5.050) + (3,65 * -3.070)) - ((91,21 * -150 + (27,73 * -6.279))$$

$$\Delta H_{\text{rxn}, 298,15} = 13.841,96 \text{ KJ}$$

Para corregir la temperatura: $\Delta H_{\text{rxn}, T} = \Delta H_{\text{rxn}, 25^\circ\text{C}} + m \cdot C_p \cdot \Delta T$ (prod – react)
 $\Delta H_{\text{rxn}, T} = \Delta H_{\text{rxn}, 25^\circ\text{C}} + Q_{\text{prod}} - Q_{\text{react}}$

Q productos:

$$Q_{\text{IMPUREZAS}} = 3,653 * 1,97 (50 - 25) = 179,91 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{GLICERINA}} = 18,16 * 1,97 (50 - 25) = 830,88 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{BIODIESEL}} = 97,127 * 1,97 (50 - 25) = 4.783,50 \text{ KJ}$$

Q reactivos:

$$Q_{\text{ACEITE}} = 91,21 * 1,97 (25 - 10) = 2.695,26 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{METANOL}} = 27,73 * 1,80 (25 - 10) = 748,71 \text{ KJ}$$

Productos – Reactivos

$$Q = (179,91 + 830,88 + 4.783,50) - (2.695,26 + 748,71) = 2.350,32 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{RXN}, 50^\circ\text{C}} = 2.350,32 + 13.871,46$$

$$Q_{\text{RXN}, 50^\circ\text{C}} = 16.221,78 \text{ KJ}$$

Al mes:

$$Q = \frac{16.221,78 \text{ KJ}}{91,21 \text{ Kg aceite}} * 20.020 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} = 3.560.575 \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}$$

$$m_{\text{GAS}} = \frac{3.560.575 \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}}{46.340 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} = 76,84 \text{ Kg}$$

Gas requerido

Asumiendo pérdidas de calor del 30%

$$m_{\text{GAS}} = 76,84 / 0,7 = 109,77 \text{ Kg de gas mensual}$$

➤ **CONSUMO TOTAL DE GAS (PROPANO) MENSUAL**

$$m_{\text{GAS}} = \sum m_{\text{GAS}} = 95,84 + 135,75 + 109,77$$

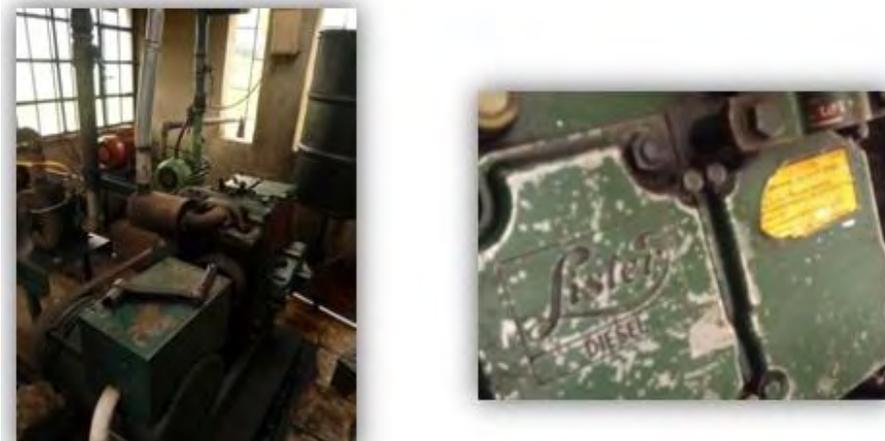
$$m_{\text{GAS}} = 341,36 \text{ Kg gas/mes}$$

7.2.6. Ensayo del biodiesel en motor. Para realizar el ensayo del combustible en motor se obtuvo una cantidad de un galón. Este se mezcló con ACPM en una proporción de 1:3.

Se solicitó a la subdirección del Centro de Producción Limpia – SENA a través de la facultad de Ingeniería Agroindustrial, la autorización para el uso del motor lister ubicado en la unidad de ganadería, con el fin de realizar las pruebas del biocombustible. Estas se cumplieron bajo la supervisión del funcionario del SENA e instructor del Taller de Mecánica Diesel Ingeniero Francisco Villota.

El motor se desconectó del tanque de alimentación y luego se procedió a sumergir la manguera de succión en la mezcla de combustible preparada, se encendió y se dejó en funcionamiento por espacio de media hora.

Figura17. Motor Lister ubicado en la planta de ganadería Centro Lope SENA



Fuente: esta investigación

En el reporte dado por el instructor (Anexo D) se registra que no hubo inconvenientes en el encendido, durante el tiempo de ensayo no se produjeron ruidos anormales en el motor y se pudo notar la ausencia de humo negro en el escape. El consumo de combustible fue de alrededor de 700 ml.

Figura 18. Adición de biodiesel y ausencia de humo negro en el escape del motor



Fuente: esta investigación

En general, la mezcla de B30% presentó un buen desempeño en el motor. Para hacer un análisis detallado de cómo se comporta el combustible y de qué manera afecta los componentes del motor, se necesitaría desarmar y revisar cada parte del mismo.

7.3 TAMAÑO Y CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

7.3.1 Tamaño de la planta. Para determinar el tamaño y capacidad de producción de la planta es necesario analizar distintos factores que pueden ser limitantes, tales como la demanda, la capacidad de abastecimiento de materia prima e insumos, tiempo y condiciones de almacenamiento, que definen los requerimientos de infraestructura, a fin de utilizar eficientemente los espacios de la planta y asegurar futuras adecuaciones para lograr una mayor participación en el mercado.

- **Dimensiones del mercado:** como ya se mencionó la demanda actual de biocombustible es muy alta y crece no solo por el aumento en el porcentaje de mezcla con el diesel fósil sino también por el fenómeno de dieselización vehicular, que como se indicó en el estudio de mercado, además del sector de energía eléctrica como un mercado potencial. Así que la demanda es muy superior a la cantidad de combustible que se podría producir a partir de aceite de fritura usado.
- **Capacidad de financiamiento:** para la ejecución del proyecto además de recursos propios se espera contar con capital privado, sin embargo es necesario recurrir a convocatorias y programas del gobierno para contar con la

totalidad del monto de inversión. Tales programas pueden ser Fonade y Fondo Emprender.

- **Disponibilidad de materia prima e insumos:** este es el factor limitante del proyecto para la producción actual. La materia prima, aunque es constante y está disponible todo el año, es mínima comparada con la cantidad que se demanda, por lo cual, se ha pensado en incorporar, a futuro, otros aceites vegetales que se encuentren en la región, como el aceite de higuera, para aumentar de esta manera la capacidad de producción.
- En cuanto a los insumos, no hay inconvenientes en cuanto al aprovisionamiento de soda caustica y ácido fosfórico. El metanol, por ser una sustancia vigilada deberá ser comprado en grandes cantidades y almacenado bajo todas las normas de seguridad. De manera que la disponibilidad de insumos no constituye una limitante para el proyecto.
- **Tecnología:** los equipos y maquinaria necesarios para el proceso se escogieron con base a la cantidad calculada de materia prima, sin embargo se planea el aumento en la producción.

7.3.2 Capacidad de Producción. La capacidad de producción se fijó en 264.000 litros por año (69.750 galones) y con posibilidad de ampliación. Para el cálculo se tuvo en cuenta la capacidad de abastecimiento de materia prima que se definió en el estudio de mercado, lo cual no alcanza a cubrir el 1% de la demanda de este biocombustible en Colombia para una mezcla de B5. Por esta razón, y debido a que la alta demanda de biodiesel es una oportunidad de mercado, se ha pensado también en utilizar a futuro, otros aceites en el proceso, como el aceite de higuera.

De acuerdo al estudio de factibilidad para el montaje de una planta de extracción de aceite de higuera, que están realizando los estudiantes de Ingeniería Agroindustrial, Hernán Darío Rojas y Dany Fernando Coral, se calcula que la producción de este aceite, según el área sembrada en el departamento, podría llegar a las 13.000ton/año.

Con la capacidad de producción establecida se determinó realizar un proceso tipo batch para lograr mayor flexibilidad en caso de requerir modificaciones en el producto, aprovechar eficientemente todos los recursos y contar con espacios de tiempo que permitan realizar operaciones de inspección y mantenimiento preventivo de los equipos.

A continuación se presenta el cálculo del tamaño de lote para una planta de producción de las siguientes características:

- Producción anual de 264.000 litros de biodiesel
- Periodo de trabajo de 25 días por mes y 10 horas por día.
- Tiempo de proceso por lote de 2,5 horas (150 minutos).
- Capacidad de almacenamiento máximo de 20.000 litros

$$\frac{264.000 \frac{\text{Lts}}{\text{año}}}{12 \frac{\text{meses}}{\text{año}}} = \frac{22.000 \frac{\text{Lts}}{\text{mes}}}{25 \frac{\text{días}}{\text{mes}}} = \frac{880 \frac{\text{Lts}}{\text{día}}}{10 \frac{\text{horas}}{\text{día}}} = 88 \frac{\text{Lts}}{\text{hora}} * 2,5 \frac{\text{horas}}{\text{lote}} = 220 \frac{\text{Lts}}{\text{lote}}$$

7.4. SELECCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPOS

Para llevar el proceso a escala industrial se tienen varias opciones en cuanto a métodos y equipos en cada una de las operaciones. Esto depende también de la capacidad de producción y la capacidad instalada que se planea utilizar. Para la elección de los equipos se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones según cada una de las etapas del proceso productivo.

7.4.1 Preparación de Metóxido. Esta es una operación independiente al reactor. Se utiliza un tanque de forma cilíndrica con agitación. El tanque debe estar aislado ya que se libera calor durante la reacción entre el metanol y la soda caustica, el material es acero inoxidable ya que es resistente a la corrosión y es un material fácil de conseguir.

7.4.2 Reacción. En esta etapa la única alternativa con la que se cuenta es un reactor químico debido a la ruta química y las condiciones que se determinó, una transesterificación catalítica en medio básico con metanol a presión atmosférica y 50° C de temperatura.

7.4.3 Separación. La separación del biodiesel y la glicerina se puede efectuar de varias formas, una de ellas es la decantación, dejando la mezcla en reposo para que por efecto de la gravedad y por la diferencia de densidades, en un tiempo superior a 8 horas las dos sustancias se separen. A nivel industrial, el método utilizado es la centrifugación, el cual es un proceso de separación que utiliza la acción de la fuerza centrífuga para promover la aceleración de partículas en una mezcla, logrando la separación entre las sustancias gracias a una rotación rápida.

La separación se logra con una fuerza del orden 1.000 a 20.000 veces mayor que la gravedad.⁴²

Esta operación se realizará a temperatura ambiente y presión atmosférica. La separación se hará por centrifugación, ya que es más rápida que la decantación, para ello se seleccionó una centrifuga, que será empleada para las operaciones de separación y lavado biodiesel.

7.4.4 Lavado. Esta operación presenta varias alternativas a nivel industrial. Existen cuatro maneras principales de lavar el biodiesel: lavado con burbujas, lavado mediante atomización, lavado con agitación y lavado estático. Estos diversos lavados pueden ser utilizados juntos o separados, pero deben formar una estrategia de lavado cohesiva.⁴³

- Lavado con burbujas. Consiste en añadir agua, generalmente en proporciones 1/3 respecto a la cantidad de biodiesel y colocar una bomba en el interior del tanque de lavado que burbujee aire. La porción de agua se depositará en el fondo, quedando bajo una capa flotante de biodiesel, de manera que las burbujas de aire al atravesar el agua recogen una diminuta cantidad y la transportan a través del biodiesel, creando una agitación indirecta de los dos líquidos y recogiendo jabones y otros contaminantes en el camino. Cuando la burbuja explota en la superficie, deja caer el agua recogida, la cual absorbe más jabones y otros contaminantes a medida que se hunde. El tiempo de saturación dependerá de la cantidad de agua que se utilice, de cuantos lavados se han hecho y del sistema de burbujeo.
- Lavado con atomización o rocío. Este sistema utiliza más agua y un equipo más complicado; un atomizador es suspendido sobre el recipiente que contiene el biodiesel, de manera que las diminutas gotas de agua que rocía el atomizador caen y pasan lentamente por el combustible, agitándolo menos que en el lavado con burbujas y removiendo los contaminantes gradualmente. Este tipo de agitación menos agresiva reduce la posibilidad de que los jabones y los glicéridos presentes formen una emulsión.
- Lavado con agitación. Consiste en mezclar el biodiesel y el agua y agitar, normalmente al transportar la mezcla a través de una bomba u otro aparato para mezclar. Los tiempos de lavado son de 5 a 30 minutos, dependiendo de la temperatura y la estrategia de mezclar, ya que el calor hace que el lavado sea más fácil, el agua de lavado normalmente se mantiene entre 40° y 70° C. La

⁴²LENNTECH. Centrifugación y centrifugadores. [en línea]. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/centrifugacion.htm>. Consulta: Diciembre 2011

⁴³WHITMAN DIRECT ACTION. Biodiesel: Producción y Aplicaciones. [en línea]. Disponible en: http://www.whitman.edu/environmental_studies/internships/reports/mendezmanual.htm#fb

agitación puede ser el método de lavado más rápido, sin embargo, entre más violenta y larga sea la agitación es más probable que cause una emulsión.

- Lavado estático. Es tal vez la forma de lavado más fácil, ya que no requiere un equipo especial y necesita muy poco trabajo. Consiste en verter agua, generalmente caliente, en el tanque con biodiesel y dejar que los líquidos reposen juntos. El contacto entre la capa de agua en la base y la capa de biodiesel arriba crea un efecto de limpieza lento y delicado debido a la polaridad del agua y a las suaves corrientes de convección creadas a medida que la temperatura se equilibra. El tiempo que tomará depende principalmente de su temperatura, la cantidad de agua y el tipo de tanque de lavado que se utilice, ya que esto determinará el área de la superficie de contacto entre el agua y el biodiesel.

Para el proceso se realizará el lavado por agitación, ya que es más rápido y consume menos cantidad de agua. Este método se utilizó para la experimentación en el laboratorio y se obtuvieron buenos resultados. Se adicionará ácido fosfórico con el agua de lavado para disminuir el pH del biodiesel, reduciendo la cantidad de agua necesaria y el tiempo de operación. El agua se cargará al equipo a 70° C y se mantendrá una baja velocidad de agitación (50 - 100 rpm), para disminuir el riesgo de emulsión del combustible.

Para esta operación se empleará un tanque cilíndrico en acero inoxidable con agitación, aislado a fin de mantener la temperatura del agua de lavado por mayor tiempo. Para complementar esta etapa, luego de retirar el agua de lavado, el biodiesel será transportado a la centrifugadora utilizada en la fase anterior, a fin de obtener una buena separación entre el biodiesel y el agua.

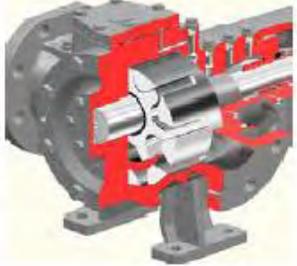
7.4.5. Secado. A nivel industrial son pocas las opciones que se pueden analizar en este sentido, siendo dos las alternativas más frecuentes y eficaces. La primera consiste en utilizar aire caliente de manera que la convección producida arrastre el agua absorbida por el biodiesel, puede ser con burbujas o rocío de manera similar que en las operaciones de lavado con estos sistemas. La segunda consiste en aplicar el calor directamente al combustible.

Para esta operación se escogió el segundo método, que consiste en elevar la temperatura hasta 110 °C para asegurar la evaporación del agua, aplicando calor en un tanque cilíndrico encaquetado de acero inoxidable, a presión atmosférica y con agitación con el fin de promover un calentamiento uniforme. El secador estará aislado para disminuir las pérdidas de calor al ambiente.

Teniendo en cuenta lo mencionado, a continuación se listan los equipos seleccionados para el proceso productivo.

Los equipos mostrados son los más importantes para el proceso de producción y almacenamiento de materias primas y productos.

Cuadro 28. Maquinaria y Equipos

<p>Bomba de desplazamiento positivo de engranaje. En acero inoxidable. Permite manejar fluidos de altas y bajas viscosidades.</p>	
<p>Bomba centrífuga. En acero inoxidable, permite el flujo de sustancias corrosivas, funcionamiento silencioso y bajos costos de mantenimiento.</p>	
<p>Reactor Químico Pfaudler Reactor batch, aislado, revestido de vidrio apto para soportar el proceso químico, asegurando una larga vida útil.</p>	
<p>Centrifuga decantadora. La centrifugadora Westfalia Separator proporciona una alta eficiencia en clarificación y separación de líquidos con eliminación simultánea de sólidos. Este equipo puede ser utilizado para una gran variedad de procesos; desde la clarificación mediante separación, clasificación, concentración, lavado y extracción.</p>	

<p>Tanque con agitador de palas para la mezcla de materias primas. La presencia del reductor moto variador permite variar la velocidad de rotación del grupo agitador durante el proceso de mezcla, garantizando así una perfecta homogeneización del producto final. Los tanques para lavado y secado serán similares.</p>	
<p>Tanque plástico. Funciona como recolector y almacenador de aguas limpias y tratadas para su posterior uso.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evita la producción de algas y bacterias debido a su color negro, que bloquea los rayos U.V. - No se corroen. - No tienen partes metálicas que se oxiden. 	
<p>Tanque de acero inoxidable de capacidad de 25000 litros. Pared de 3.2 mm de espesor. Nivel visible de contenido en su interior. Patas de soporte. Escalera y plataforma de acceso a parte superior. Altura total 3,50 mts.</p>	
<p>Filtro de Sedimentos de 5 micras Especial para uso industrial, resistente, versátil, fácil de instalar y fácil de usar.</p>	

Fuente: esta investigación

Cuadro 29. Diagrama de Flujo del Proceso

Parámetros	Operación	Símbolo				Maquinaria y Equipos
		□	○	⇒	△	
Filtración de Aceite, Pesaje	Recepción de materia prima e insumos	X				Báscula, Lienzo, Tanques de almacenamiento
Densidad, Índice de Acidez	Caracterización Aceite	X				Materiales de laboratorio
Cálculo y pesaje de insumos	Formulación	X				Calculadora, Bascula
Metanol, Soda Caustica 50° C – 10 min.	Preparación del metóxido		X			Tanque enchaquetado con agitación
Metóxido, Aceite 50° C – 90 min.	Reacción Química		X			Reactor con agitación
10 min.	Separación		X			Centrifugadora
Agua a 70° C, Acido fosfórico 20 min.	Lavado		X			Tanque con agitación, Centrifugadora
110° C – 15 min.	Secado		X			Tanque enchaquetado con agitación
	Filtración		X			Filtro de 5 micrones
Normas de seguridad	Almacenamiento				X	Tanques de Almacenamiento
	Pruebas de Calidad	X				Materiales de laboratorio

Fuente: esta investigación

7.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso productivo para la obtención de biodiesel se llevará a cabo así:

7.5.1. Recepción y almacenamiento de materia prima e insumos. El aceite será depositado en bidones de 20 litros que serán suministrados por la empresa a cada proveedor, según la cantidad que produzca. Estos bidones serán recogidos y transportados hasta la empresa en donde será pesado y filtrado con lienzos, para eliminar residuos, carbonilla y suciedad. Posteriormente será almacenado.

7.5.2. Caracterización del Aceite. En esta etapa se busca conocer el estado del aceite a fin de poder realizar la valoración del catalizador a emplear. Consiste principalmente en dos determinaciones:

Densidad: esta propiedad nos permite hacer los cálculos en base al peso del aceite.

Índice de Acidez: a través de esta titulación se busca determinar la cantidad de ácidos grasos libres en el aceite y por tanto, la cantidad de base necesaria para su neutralización, a fin de que no interfieran en la reacción.

7.5.3. Formulación. Conociendo las características del aceite, se hace los cálculos y el pesaje de las sustancias para la preparación del metóxido.

7.5.4. Preparación del metóxido. El proceso inicia cargando el metanol en un tanque de agitación donde se calienta hasta una temperatura de 40° C. A esta temperatura se adiciona la soda caustica necesaria para obtener la solución de metóxido.

7.5.5. Transesterificación. El aceite es cargado al reactor y llevado hasta una temperatura de 40° C. Cuando alcanza esta temperatura se agrega el metóxido ya preparado, para efectuar la reacción de transesterificación a 50° C, a presión atmosférica y con agitación durante 90 minutos.

7.5.6. Separación. Una vez efectuada la reacción, los productos pasan a una centrifugadora para ser separados por diferencia de densidades. De aquí, la glicerina se retira del proceso y se almacena en un depósito para ser comercializada.

7.5.7. Lavado. El biodiesel es enviado a un tanque provisto con agitación, en donde se le adiciona la cantidad de ácido necesaria para llevar su pH hasta 7 mientras se agita suavemente. Luego se adiciona agua a 70° C para arrastrar las sales formadas, residuos de jabón y glicerina que están inmersos en el biodiesel. Por último, se envía a la centrifugadora para separar el agua, esta se retira del proceso y envía a tanques de tratamiento para su posterior eliminación.

7.5.8. Secado. El biodiesel que sale de la centrifugadora la segunda vez pasa a un tanque donde se calienta hasta 110 °C para eliminar agua residual de la

operación de lavado, provisto con agitación para proporcionar un calentamiento uniforme.

7.5.9. Filtración. Al salir del tanque de secado, el biodiesel pasará por filtros de 5 micrones para retener impurezas presentes en él, antes de ser almacenado.

7.5.10. Pruebas de calidad. Se realizarán pruebas de evaluación fisicoquímica a una muestra de cada lote que se obtenga, sin embargo es necesario enviar muestras constantemente a un laboratorio certificador para verificar el cumplimiento de todas las especificaciones según la norma.

7.5.11. Almacenamiento. El biodiesel será almacenado en tanques bajo todas las normas de seguridad establecidas, a fin de evitar la aparición de hongos, mohos, absorción de humedad u oxidación que degraden su calidad como combustible.

7.6. DISTRIBUCIÓN Y DISEÑO DE PLANTA

7.6.1. Distribución en Planta. Es la ordenación física de los elementos industriales. Esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los espacios necesarios para el movimiento de materiales, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, así como el equipo de trabajo y el personal de taller.

El objetivo principal es encontrar una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo que sea la más económica para el trabajo, al mismo tiempo que la más segura y ergonómica para los operarios. En la distribución en planta tenemos dos intereses claros que son:

- **Interés Económico.** Con el que se persigue aumentar la producción, reducir los costos, satisfacer al cliente mejorando el servicio y mejorar el funcionamiento de la empresa.
- **Interés Social.** Con el que se pretende darle seguridad al trabajador y satisfacer al cliente.

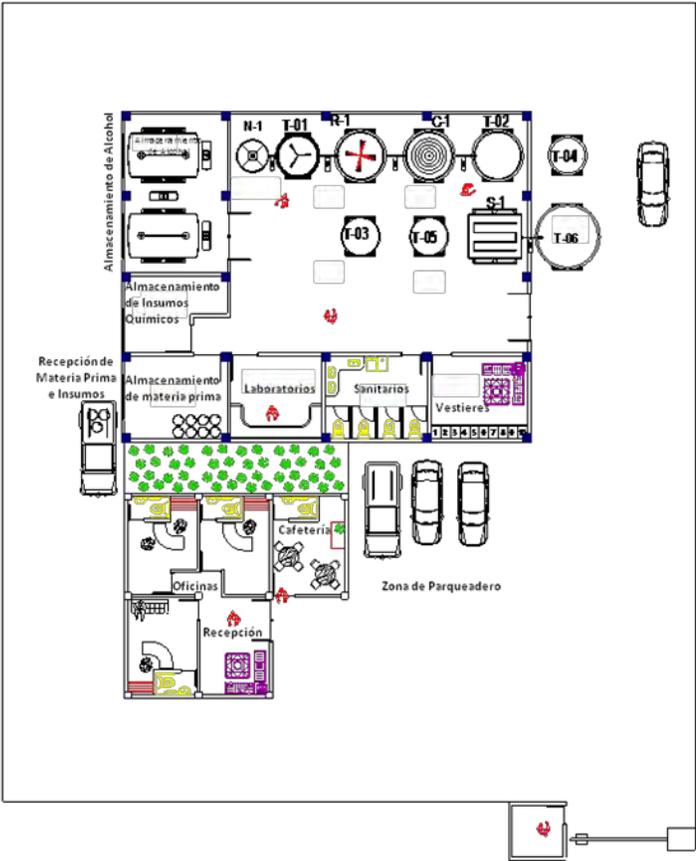
Una buena distribución en planta debe cumplir con seis principios los que se listan a continuación:

- Principio de la Integración de conjunto. La mejor distribución es la que integra las actividades auxiliares, así como cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas las partes.
- Principio de la mínima distancia recorrida a igual de condiciones. Es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material entre operaciones sea más corta.
- Principio de la circulación o flujo de materiales. En igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución o proceso que este en el mismo orden a secuencia en que se transforma, tratan o montan los materiales.
- Principio de espacio cúbico. La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto vertical como horizontal.
- Principio de la satisfacción y de la seguridad. Será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los productores.

7.6.2. Tipo de distribución en planta. El tipo de distribución se hará por producción en cadena (producción en u), donde el material se desplaza de una operación a la siguiente.

En este tipo de distribución los puestos de trabajo se ubican según el orden implícitamente establecido en el diagrama analítico de proceso y se consigue mejorar el aprovechamiento de la superficie requerida para la instalación, además el material en curso de fabricación se desplaza de un puesto a otro, lo que conlleva menor manipulación y recorrido en transportes, a la vez que admite un mayor grado de automatización en la maquinaria.

Figura 19. Plano de la Planta Física



Fuente: esta investigación

8. ESTUDIO ADMINISTRATIVO - ORGANIZACIONAL

El estudio organizacional y administrativo del proyecto de producción de biodiesel considera la planeación e implementación de una estructura organizacional para la empresa que se va a constituir, así mismo el estudio legal y los aspectos laborales que van a permitir la orientación de las actividades durante el periodo de operación.

Así mismo muestra los elementos administrativos tales como la cultura organizacional que defina el rumbo y las acciones a realizar para alcanzar los objetivos de la empresa, por otra parte se definen otras herramientas como el organigrama y la planeación de los recursos humanos con la finalidad de proponer un perfil adecuado y seguir en la alineación del logro de las metas empresariales.⁴⁴

Una organización es una entidad social orientada al logro de metas que tiene un sistema de actividad deliberadamente estructurado. Esto quiere decir en primer lugar que, para existir, una organización requiere más de una persona, la mayoría de las organizaciones están formadas por muchos miembros y grupos que interactúan en ciertas formas de acuerdo a un plan definido para realizar las funciones esenciales que permiten a la organización alcanzar el propósito explícito para el que se creó. Este plan definido indica que la labor organizacional es específica, la cual se lleva a cabo mediante un sistema estructurado de departamentos y actividades independientes que tienen responsabilidades y autoridad para la toma de decisiones claramente definidas. Tal diseño brinda gran eficiencia en el proceso de trabajo.

De aquí que es necesaria una planeación estratégica que nos permita identificar hacia donde se va a desplazar la empresa en su crecimiento, teniendo en cuenta sus objetivos y la evolución de las tendencias del mercado tanto económicas como sociales. Por esta razón, se utilizó como una herramienta guía para generar una cultura organizacional donde se expresa el objetivo empresarial, la misión, la visión, los principios y los valores que orientarán el funcionamiento de la empresa.

8.1. TIPO DE ORGANIZACIÓN LEGAL

El tipo de sociedad por constituir se relaciona con la misión de la nueva unidad productiva y los intereses de los socios. Existen sociedades de carácter público, privado o mixto según el origen de los recursos que se aportan para la puesta en marcha del proyecto. Teniendo en cuenta factores como la capacidad de

⁴⁴LÓPEZ, María Elvira, et al. Estudio administrativo... un apoyo en la estructura organizacional del proyecto de inversión. Profesores investigadores del Instituto Tecnológico de Sonora. ITSON publicaciones. México. 2008

inversión, el límite de responsabilidad que se estima conveniente y la forma como se quieren distribuir las utilidades, a demás de la filosofía con que se ha concebido el proyecto, se decidió la conformación de la empresa como sociedad por acciones simplificada.

8.2. ASPECTOS GENERALES

Razón social. El nombre de la sociedad estará seguida de las palabras “sociedad por acciones simplificadas” o S.A.S, se denominará “Empresa de Biocombustibles NEODIESEL S.A.S.”

Ubicación. La empresa se ubicará en el corregimiento de Catambuco, zona industrial del municipio de Pasto, departamento de Nariño.

Constitución. La sociedad se constituirá mediante documento privado celebrado entre una o varias personas naturales o jurídicas quienes solo serán responsables hasta el monto de sus respectivos aportes. Con la minuta de constitución se registrará en Cámara de Comercio., no estará obligada a definir su objeto comercial por lo que puede realizar cualquier actividad civil o mercantil lícita y así mismo no será necesario estipular el tiempo de duración de la sociedad, en tal caso se entenderá que es indefinido.

Se deberá delegar cuando menos un representante legal, si no se dice nada en los estatutos de acuerdo al artículo 420 del Código del Comercio, las funciones de organización estarán en cabeza de la asamblea de accionistas y las de administración en el representante legal. En el caso de que sea unipersonal, el accionista puede ejercer todos los roles y funciones.

La Empresa de Biocombustibles NEODIESEL S.A.S cumplirá con todas las disposiciones para su constitución y funcionamiento expresadas en la ley 1258 de 2008 (5 de diciembre).

8.3. CULTURA ORGANIZACIONAL

8.3.1. Objetivo empresarial. Adelantar en Colombia actividades industriales y comerciales correspondientes o relacionadas con la transformación de aceites vegetales para la obtención de combustible así como la investigación y desarrollo en los procesos y tecnologías de innovación dentro de este campo.

8.3.2. Misión. Producir y comercializar combustible a partir de aceite vegetal de manera eficiente, velando por la integridad de las personas y la seguridad de los

procesos para lograr un crecimiento rentable y sostenible, bajo una política de responsabilidad con la sociedad, el medio ambiente y el desarrollo de la región.

8.3.3. Visión. Ser reconocidos por la excelente calidad de nuestros productos y la innovación en el desarrollo de procesos y uso de tecnologías, consolidándose como la empresa líder en la industria de biocombustibles del sur occidente del país.

8.3.4. Principios Corporativos. Todo el personal de la empresa deberá apropiarse de los siguientes principios y valores corporativos para dirigir su comportamiento en la institución.

- Respeto por el ser humano y el medio ambiente
- Responsabilidad
- Orientación a resultados
- Orientación al cliente y al mercado
- Vocación de liderazgo
- Disciplina
- Trabajo en equipo

8.3.5. Valores Corporativos. Honestidad. La honestidad e integridad enmarcarán las acciones de los funcionarios de la empresa.

Calidad. Será la característica fundamental tanto en los procesos productivos como en las relaciones con clientes, trabajadores y proveedores a fin asegurar la excelencia en el funcionamiento de la empresa.

Eficiencia. Mediante la delegación de responsabilidades por áreas de trabajo se asegurará niveles óptimos de rendimiento que garanticen el cumplimiento de las obligaciones de la empresa en el menor tiempo posible.

8.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La estructura de la organización es el marco de responsabilidades, las autoridades y las comunicaciones de los individuos en cada unidad de organización, desde los puestos simples a las divisiones principales; define sus funciones y las relaciones de cada parte con todas las demás y con el conjunto de la organización, es un diseño para las relaciones ideales de trabajo que deben existir en la empresa, entre sus miembros y las unidades de la organización.

NEODIESEL S.A.S. establecerá su estructura administrativa de acuerdo a los estándares de calidad internacional expresadas en las directrices de la norma ICONTEC NTC- ISO 9000, principalmente en la orientación hacia los procesos donde exista una distribución especializada de procesos agrupados en áreas de trabajo. Son muchas las ventajas para una empresa que opera en base a los principios de calidad de esta norma; algunos de ellos son⁴⁵:

- A nivel interno mejora la productividad por la coordinación y trabajo en equipo en la ejecución de acciones planificadas.
- Promueve en todos los miembros de la organización el trabajo orientado al cumplimiento de los objetivos corporativos y la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes.
- El énfasis en los procesos facilita una mayor eficacia en el logro de la satisfacción del cliente.
- Crea nuevas oportunidades de mercado por el reconocimiento nacional e internacional, que otorga el cliente o un organismo certificador, cuando se evidencia que se trabaja con una cultura de calidad.
- Desarrolla en los miembros de la organización un alto sentido de pertenencia.

⁴⁵MENDEZ, Rafael. Formulación y evaluación de proyectos. Enfoque para emprendedores. ICONTEC Internacional. Cuarta Edición. Colombia. 2006.

Figura 20. Organigrama de la empresa



■ Área de Producción
■ Área de Administración y Finanzas
Fuente: Esta investigación.

8.4.1. Descripción de áreas.

Área de Producción: se encargará de los procesos de operación, mantenimiento de los equipos, suministro y coordinación de las instalaciones, materiales y herramientas requeridas, para lograr una producción eficiente, en las mejores condiciones de calidad, confiabilidad, seguridad y uso racional de los recursos.

Área de Administración y Finanzas: esta área será la encargada de la contabilidad, presupuestos, tesorería, talento humano, adquisición de equipos, utensilios, materias primas, entre otros recursos. Además, desde este departamento se manejará las actividades correspondientes a la comercialización, análisis del mercado, gestión de ventas y distribución del producto. Su función será mantener la comunicación entre la empresa y el mercado para responder a las necesidades y exigencias del mismo.

8.4.2. Descripción de Funciones

Asamblea general de accionistas: es el máximo órgano social constituida por los accionistas de NEODIESEL S.A.S. Se reunirá anualmente para examinar la situación de la sociedad, designar los administradores y demás funcionarios de su elección, determinar las directrices económicas de la compañía, resolver sobre la distribución de utilidades y acordar todas las medidas que aseguren el cumplimiento del objeto social. Deberá ejercer las funciones consagradas en el artículo 420 del Código de Comercio para las sociedades anónimas más las que sean estipuladas en los estatutos sociales.

Gerente General: ejercerá la representación legal y administrativa de la sociedad de acuerdo a las facultades que le sean otorgadas. Estará encargado de dictar las pautas y normas encaminadas al funcionamiento eficiente de la empresa de acuerdo con los planes, estrategias y disposiciones aprobadas por la asamblea general.

- Administrar, supervisar y controlar los procesos de contabilidad y finanzas, presupuesto, tesorería, personal, en las mejores condiciones de calidad y costos.
- Definir e implementar normas y procedimientos respecto a su área, dentro de un marco de mejoramiento continuo de calidad.
- Coordinar con las diferentes áreas de la empresa en forma permanente a fin de atender sus necesidades y proporcionar recursos necesarios para el cumplimiento de las responsabilidades de los trabajadores.
- Mantener buenas relaciones y contacto permanente con los proveedores de bienes y servicios de la empresa.
- Administrar y mantener actualizada la base de datos, facturas y documentos de negociaciones con proveedores.

- Negociar y ejecutar la comercialización de los productos.
- Analizar y evaluar permanentemente las condiciones del mercado, principalmente lo referente a precios y costos de producción, las normas que rigen el mercado y la situación energética.
- Mantener el sistema de comercialización y políticas de la empresa permanentemente actualizadas.
- Asegurar que las inversiones que realice la empresa para ampliar su capacidad instalada obtengan la rentabilidad necesaria.
- Planificar, organizar y dirigir los esfuerzos del área para la consecución de nuevos clientes.
- Planificar, dirigir y coordinar con el área de producción los despachos de producto en los tiempos, condiciones y especificaciones requeridas por el cliente.
- Otras responsabilidades que le sean asignadas dentro de su competencia.

Jefe de Producción: como responsable del área de producción estará encargado de planificar, organizar, dirigir y controlar todos los procesos de su competencia. Entre sus funciones estarán:

- Diseñar, controlar y evaluar los programas de producción y mantenimiento de equipos.
- Dirigir y coordinar los procesos operativos y de mantenimiento, asegurando el uso eficiente de los recursos.
- Proponer y aportar técnicamente en el desarrollo de proyectos de ampliación o modificación de las instalaciones.
- Elaborar el presupuesto operativo del área de producción.
- Supervisar el cabal cumplimiento de la normatividad vigente aplicada a los procesos, seguridad y salud ocupacional y protección ambiental.
- Coordinar permanentemente con los jefes de las demás áreas, para concretar las acciones encaminadas al cumplimiento de los objetivos de la empresa.
- Capacitar permanentemente el personal a su cargo.
- Desempeñar otras funciones que se le deleguen y que correspondan a su sección.

Operarios: cada uno cumplirá con las asignaciones dadas por su jefe inmediato dentro de las líneas de producción y mantenimiento. Entre sus funciones básicas estarán:

- Operar los equipos, materiales y elementos dentro del área de producción realizando oportuna y adecuadamente cada uno de los procedimientos.
- Cumplir con los programas de operación, preservando las normas de seguridad y salud ocupacional emitidas por la empresa.
- Inspeccionar el estado de los equipos y maquinas que utiliza.
- Comunicar a su jefe sobre las necesidades de mantenimiento para efectuar las reparaciones en caso de que ser requeridas.
- Cumplir con las horas de capacitación que se establezcan.
- Realizar otras funciones que se le asignen.

Contador: estará también bajo la dirección y supervisión del Jefe de Administración y Finanzas, se encargará de dirigir y controlar el proceso contable, suministrando información confiable y oportuna para la toma de decisiones. Se encargará también de manejar los aspectos de tesorería. Entre sus funciones están:

- Preparar y mantener los registros contables.
- Proporcionar a los niveles de dirección, herramientas de gestión con información precisa y oportuna sobre impuestos, costos, seguros u otra información requerida, por las áreas internas y entidades externas.
- Efectuar los depósitos en bancos a proveedores fuera del departamento.

- Registrar las operaciones contables, emitir los comprobantes de ingreso y egreso, facturas y otros documentos relacionados con la oficina de tesorería.
- Otras funciones que le sean asignadas por su jefe, en materia de su cargo.

8.4.3. Marco Legal. El procedimiento para la constitución como empresa incluye:

- Comprobar disponibilidad del nombre a utilizar en la empresa. En el puesto de información de cualquiera de las sedes de la Cámara de Comercio se solicita un formato para consultar los nombres registrados en donde especifica los nombres a consultar y la actividad a la que se va a dedicar. Una vez diligenciado, se presenta en alguno de los puestos de atención donde se verificará la disponibilidad de los nombres.
- Redactar el documento constitutivo de la S.A.S. Teniendo en cuenta que este documento privado deberá contener al menos la siguiente información: Nombre, documento de identidad y domicilio de los accionistas. Las personas que suscriben el documento de constitución deberán autenticar sus firmas antes que este sea inscrito en el registro mercantil.
- Diligenciar formulario de matrícula mercantil en Cámara de Comercio y pagar los derechos de la misma. Adicionalmente, se diligencia ante la misma entidad, los formularios del Registro Único Empresarial (RUE) y se efectúa el pago del valor del impuesto de registro y los derechos de inscripción.
- Registrar libros de comercio. Todo comerciante, persona natural o jurídica, debe inscribir ante la cámara de comercio sus libros de contabilidad tales como: actas de asambleas, registro de aportes, comprobantes de cuentas, soportes de contabilidad, entre otros y pagar sus respectivos derechos de inscripción.
- Tramitar el NIT de la empresa ante la DIAN.
- Inscribir a los empleados a la Aseguradora de Riesgos Profesionales (ARP) y a seguridad social, pensiones y cesantías, según la EPS y fondo de pensiones donde se encuentren afiliados o deseen afiliarse.

8.4.4. Normatividad. Existen varias leyes y decretos que regulan la cadena de combustibles en el país, las más importantes en cuanto al uso de biodiesel son:

- Ley 939 de 2004 -artículo 7º - el combustible diesel que se utilice podrá contener biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diesel.

- Artículo 8º y 9º - lo declaran exento del impuesto sobre las ventas (IVA) y del impuesto global.
- Resolución 1289 de 2005 – Por la cual se establecen los requisitos de calidad técnica y ambiental de los biocombustibles para uso en motores diesel, así como de sus mezclas con el diesel - $5 \pm 0,5\%$ de biocombustible; modificada por la Resolución 1180 de 2006 y 182087 de 2007 (Calidad del biodiesel).
- Resolución 181780 de 2005 – del Ministerio de Minas y Energía, establece la estructura de precios para la producción, distribución y venta del ACPM mezclado con Biodiesel. Modificada por la Resolución 180212 del 14 de febrero de 2007.
- Decreto 2629 de 2007 – por el cual se expone que a partir del primero de enero de 2010 el parque automotor y demás artefactos diesel que se produzcan, importen y comercialicen en el país deberán estar acondicionados para funcionar normalmente indistintamente con diesel o con mezclas de biocombustibles con un mínimo del 10% de biodiesel y consecutivamente a partir de enero de 2012 del 20%.
- Resolución 181109 de 2007 – del Ministerio de Minas y Energía, por la cual se adiciona el artículo 3 de la Resolución 181780 de 2005, en el sentido de fijar algunas tarifas de transporte del biocombustible para uso en motores diesel.
- Resolución 182142 de 2007 - Por el cual se expiden normas para el registro de productores y/o importadores de biocombustibles para uso en motores diesel y se establecen otras disposiciones en relación con su mezcla con el ACPM del origen fósil.
- Ley 1205 de 2008 - Por medio de la cual se mejora la calidad de vida a través de la calidad del diesel y se dictan otras disposiciones.
- CONPES 3510 (Marzo 2008) - Lineamientos de política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.
- Decreto 4892 de 2011 - Por el cual se dictan disposiciones aplicables al uso de alcoholes carburantes y biocombustibles para vehículos automotores.

9. ESTUDIO FINANCIERO

En primer lugar se buscará la financiación de entes gubernamentales tales como el Ministerio de Minas y Energía a través del el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas IPSE, cuyo interés primordial es apoyar proyectos que constituyan el desarrollo de las regiones con poblaciones no interconectadas al sistema de interconexión nacional.

9.1. INVERSIONES

9.1.1. Inversión fija. Este rubro se divide en tangible e intangible, diferenciación que va a facilitar el coste del proyecto en su fase operativa. La estimación de la inversión se basa en cotizaciones y/o proformas de los bienes y servicios a utilizarse en la ejecución del proyecto. Forma parte de la infraestructura operativa del negocio, es decir la base para iniciar la producción planeada.

Inversión fija tangible: se refiere a todos los bienes físicos, son gastos que son materiales, fácilmente identificables, objetivos y reales.

- **Predio:** el área de terreno a utilizar es de 350 m², el cual deberá ser arrendado o comprado en el corregimiento de Catambuco, ciudad de Pasto Nariño. El costo del m² en el sector es de \$ 225.000.
- **Obras civiles.** Comprenden las obras de construcción de las instalaciones y mano de obra.

Cuadro 30. Cantidades de Obra*

Detalle	Valor (\$)
Terreno	78.750.000
Construcción	35.482.400
Instalaciones Eléctricas	3.640.000
Instalaciones Sanitarias	3.195.000
Pintura y Acabados	2.607.400
Carpintería y Otros	4.890.000
TOTAL (\$)	128.564.800

Ffuente: *Asesoría realizada por Ing. Civil. Julio Castillo B.

- **Inversión en equipos y maquinaria (activos fijos):** corresponde a los equipos de producción necesarios para el proceso productivo.

Cuadro 31. Equipos y maquinaria*

Detalle	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Bomba mecánica	Centrífuga	6	248.220	1.489.320
	Desplazamiento positivo	1	680.500	680.500
Tanques enchaquetados con agitación	Acero inoxidable, 300 L	2	1.560.000	3.120.000
Tanques con agitación	Acero inoxidable, 300 L	1	1.450.000	1.450.000
Centrifugadora	500 L	1	21.340.220	21.340.220
Reactor Químico	Con control de temperatura y agitación, 500 L	1	18.889.582	18.889.582
Filtro de sedimentos	5 micras	3	25.000	75.000
Tanques de Almacenamiento	Plástico, 1000 L	2	336.748	673.496
	Plástico, 250 L	1	230.724	230.724
	Acero Inoxidable, 25.000 L	3	5.500.000	16.500.000
Tuberías	Acero Inoxidable	15	6.816	102.240
			TOTAL (\$)	64.551.082

* Los precios fueron consultados de listas de precios de empresas nacionales e internacionales en la web.

- **Inversión en utensilios (activos fijos):** el cuadro 29 muestra las inversiones a realizar en este rubro.

Cuadro 32. Inversión utensilios

Detalle	Descripción	Cant.	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Canecas plásticas	20 L	1.000	1.800	1.800.000
Calculadora	-	2	10.000	20.000
Materiales de Laboratorio	Vidriería			25.000.000
Pipa de gas	100 Lb	2	100.000	200.000
Extintores	Industrial	1	35.000	35.000
Canecas de la basura	Disposición de residuos	2	10.000	20.000
TOTAL (\$)				27.075.000

Fuente: esta investigación

- **Inversión en muebles y equipos de oficina:** los detalles se muestran en el cuadro 30.

Cuadro 33. Inversión en muebles y equipos de oficina

Detalle	Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Escritorios	De madera	3	150.000	450.000
Mesa	De madera	1	90.000	90.000
Sillas	Plásticas	5	15.000	75.000
Sillas	Ergonómicas	3	50.000	150.000
Archivador	Metálico	2	80.000	160.000
Computador	Desktop Intel	2	800.000	1.600.000
Impresora	Multifuncional Epson	1	250.000	250.000
Telefax		1	70.000	70.000
Casilleros	Metálicos	3	60.000	180.000
Bancos	De madera	2	40.000	80.000
Estantes para almacén	Metálicos	2	70.000	140.000
Papelería	Factureros, resmas, carpetas	1	320.000	320.000
TOTAL (\$)				3.565.000

Fuente: esta investigación

Inversión fija intangible: agrupa todos los gastos que se realizan en la fase pre-operativa del proyecto que no son identificables físicamente. En el cuadro 31 se describe la inversión intangible estimada para el proyecto.

Cuadro 34. Costos Pre-Operacionales

Inversión	Valor (\$)
Escritura y Gastos Notariales	26.200
Permisos y Licencias	550.000
Registro de libros contabilidad	28.000
Registro Mercantil	343.000
Registro, Marcas y Patentes	400.000
Permiso planeación municipal	30.000
Bomberos voluntarios	50.000
Sayco y Acimpro	82.717
Uso del suelo	30.000
TOTAL (\$)	1.539.917

Fuente: esta investigación

A continuación se resume el total de la inversión fija a realizar.

Cuadro 35. Activos Fijos

INVERSION EN ACTIVOS FIJOS	
Obras civiles	128.564.800
Maquinaria	64.551.082
Utensilios	27.065.000
Muebles y Equipos de oficina	3.565.000
Gastos pre-operacionales	1.539.917
TOTAL (\$)	225.285.799

Fuente: esta investigación

9.2. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos de producción pueden dividirse en dos grandes categorías: Costos Directos o Variables, que son proporcionales a la producción, como materia prima, y los Costos Indirectos, también llamados Fijos que son independientes de la producción, como los impuestos que paga el edificio. Estos costos se detallan a continuación.

9.2.1. Costos Directos. Hace referencia a los costos de materia prima, insumos, servicios y así mismo la depreciación de los equipos utilizados en la producción.

Materia prima e insumos: de acuerdo a la capacidad de abastecimiento realizada en el estudio de mercado, la cantidad de aceite mensual con la que se puede trabajar es de 23.000 litros (aproximadamente 21.000 kg), para lo cual es

necesario 6.900 litros de alcohol (5.465 kg), 106 kg de soda cáustica y 50 litros de ácido fosfórico (87 kg).

La recolección de materia prima se hará una vez por semana en la ciudad de Pasto y una vez quincenal en los municipios de Ipiales, Túquerres, Chachagüí, Buesaco y el Tambo.

La compra de metanol se realizará a través de ACEPALMA, la cantidad mínima cotizable es de 35 TM, por esta razón y para aprovechar la máxima capacidad de almacenamiento con que se cuenta (50.000 litros), se comprará 39 TM, que corresponden 49.257 litros y se mantendrán en reserva.

Según la cantidad de aceite a procesar, se calcula que el alcohol comprado cubrirá la producción de 7 meses, al cabo de los cuales será necesario volver a abastecerse. El precio del alcohol varía cada mes según los precios internacionales, se tomó como referencia el precio del mes de enero de 2012, de \$920.000 por tonelada métrica.

La cantidad de insumos químicos requeridos se comprará mensualmente a la empresa Elementos Químicos Ltda.

El costo unitario de la materia prima e insumos se muestra en el cuadro 33.

Cuadro 36. Costo unitario de materia prima e insumos

Materia prima e insumos	Valor Unitario	Costo mensual (\$)
Aceite	\$ 500 Lt	11.500.000
Metanol	\$ 920.000 TM	5.125.714*
Soda cáustica	\$ 20.040 Kg	2.124.240
Acido fosfórico	\$ 33.120 Lt	1.656.000
TOTAL (\$)		20.404.954

*El costo total se dividió entre 7 meses.

Fuente: esta investigación

Transporte: los costos de recolección y transporte de materia prima e insumos se calcularon por mes, de acuerdo a las tarifas de las empresas de transporte y carga directamente en la web.

Cuadro 37. Costos de Transporte

Concepto	Valor Total por mes (\$)
Aceite	168.930
Alcohol	350.000*
Insumos Químicos	118.060
TOTAL (\$)	636.990

*El costo total se dividió entre 7 meses.

Fuente: esta investigación

9.2.2. Costos Indirectos

Otros costos de fabricación: se incluyen en el proceso productivo todos aquellos costos que no participan directamente en el proceso pero que son necesarios para el desarrollo del producto. Se describen en el cuadro 35.

Cuadro 35. Otros costos de fabricación

Descripción	Valor mensual (\$)
Servicios Públicos	350.000
Seguros	82.000
Mantenimiento y Reparaciones	55.000
Dotaciones	20.000
Gas propano	800.000
TOTAL (\$)	1.307.000

Fuente: esta investigación

Costos de administración: el cuadro 36 describe los costos mencionados. La nómina está conformada por el gerente a quien se le pagará \$1.133.400, un jefe de producción con un salario de \$900.000, dos operarios, un vigilante, un vendedor y una persona para servicios generales, que recibirán un salario mensual de \$566.700 y un contador a quien se le pagará por prestación de servicios.

Cuadro 38. Gastos Administrativos

Descripción	Valor mensual (\$)
Nómina	4.866.900
Honorarios Contador	300.000
Telefonía e Internet	75.000
Suministros de oficina	360.000
Otros	332.000
Servicios	320.000
TOTAL (\$)	6.253.900

Fuente: esta investigación

Costos de transporte y ventas: el transporte se contratará con empresas especializadas en transporte de combustibles, el valor por galón transportado hasta Yumbo, Valle es de \$155,2 según la asociación de distribuidores de combustibles de Nariño ADICONAR.

El biodiesel será enviado a planta mayorista una vez al mes, mientras tanto permanecerá almacenado en condiciones que mantengan su calidad. Esto con el fin de disminuir los costos en el transporte y enviar al cliente una cantidad considerable de producto. Para este cálculo se tuvo en cuenta que 1 tonelada equivale 303 galones de biodiesel y un galón a 3,785 litros. Este rubro se indica en el cuadro 37.

$$\text{Cantidad biodiesel mensual} = 21.380 \text{ lt} * \frac{1 \text{ galon}}{3,785 \text{ lt}} = 5,648,6 \frac{\text{gal}}{\text{mes}}$$

Cuadro 39. Costos de transporte y ventas

Descripción	Valor mensual (\$)
Transporte a planta mayorista	876.664
Otros	60.000
Publicidad	477.000
TOTAL (\$)	1.413.664

Fuente: esta investigación

Depreciación de equipos y maquinaria: la depreciación se calculó usando el método de la línea recta que consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo. El cálculo de la depreciación mensual se muestra en el cuadro 38.

Cuadro 40. Depreciación mensual de equipos

Activo	Valor	Vida útil (meses)	Depreciación mensual
Construcciones y edificio	76.909.900	240	320.458
Maquinaria y equipo	64.551.082	120	537.926
Muebles y enseres	3.565.000	60	59.417
Equipos de oficina	1.200.000	36	33.333
	TOTAL (\$)		951.134

Fuente: esta investigación

9.2.3. Costos Operacionales. Una vez que se ha definido los costos de producción se puede establecer los costos operacionales. Dichos costos se describen en el cuadro 39.

Cuadro 41. Costos operacionales mensuales

Descripción	Valor (\$)
Costos de producción	30.016.508
Costos administrativos	6.253.900
Costos de transporte y venta	1.413.664
Depreciación de equipos y maquinaria	951.134
TOTAL (\$)	38.635.206

Fuente: esta investigación

9.3. CAPITAL DE TRABAJO

El Capital de Trabajo considera aquellos recursos que requiere el Proyecto para atender las operaciones de producción y comercialización de bienes o servicios y, contempla el monto de dinero que se precisa para dar inicio al Ciclo Productivo del Proyecto en su fase de funcionamiento. En otras palabras es el Capital adicional con el que se debe contar para que comience a funcionar el Proyecto, esto es financiar la producción antes de percibir ingresos.

Para el cálculo del capital de trabajo se tiene en cuenta que la inversión en el primer mes es la más alta debido a que la compra de alcohol debe hacerse en una cantidad que cubrirá los requerimientos de producción de aproximadamente 7 meses. Además, el producto final es almacenado durante un mes, puesto que al final de este periodo se realizará la venta a la planta mayorista. Por consiguiente, el capital de trabajo invertido queda inmovilizado por un periodo de 30 días, con lo que las necesidades de capital para cubrir un ciclo de trabajo se elevan al monto calculado por costos de operación durante este tiempo.

El capital de trabajo para un mes se detalla en el cuadro 40.

Cuadro 42. Capital de trabajo

Descripción	Rotación (días)	Inversión (\$)
Efectivo	1	670.047
Cartera	4	3.985.878
Inventario de Materia Prima	20	6.189.812
Inventario de Productos en Proceso	1	451.728
Inventario de Producto Terminado	15	6.775.924
TOTAL (\$)		18.073.390

Fuente: esta investigación

9.4. INVERSION TOTAL DEL PROYECTO

El cuadro 41 describe el monto de inversión inicial del proyecto para la producción de biodiesel.

Cuadro 43. Inversión Total del Proyecto

Rubro	Total (\$)
Capital de Trabajo	18.073.390
Activos fijos	223.755.882
Diferidos	1.539.917
TOTAL (\$)	243.369.189

Fuente: esta investigación

9.5. FINANCIACIÓN DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto es necesaria la inversión de capital privado y público. Se buscará la inversión de socios capitalistas interesados en el proyecto, los cuales pueden ser principalmente las empresas generadoras de grandes cantidades de aceite de fritura usado.

De la misma manera, se buscará presentar el proyecto a las instituciones del Ministerio de Minas y Energía como el IPSE, que financian proyectos para la generación de energía, tal como se mencionó en el estudio de mercado.

9.6. INGRESOS OPERACIONALES

Los ingresos que se describen a continuación corresponden a la comercialización del producto que da razón social a la empresa, esto es el biodiesel y el coproducto obtenido en el proceso. El precio de venta del biocombustible será el máximo valor estipulado como Ingreso al productor o precio techo, el cual varía mensualmente entre los 8.600 y 9.800 pesos, se tomará como precio de referencia \$ 9.619,28 por galón.

El precio de la glicerina también varía según el precio internacional. Para efectuar el cálculo se usó como base la densidad aproximada de la glicerina cruda que es de 1,25 g/mL y un precio de referencia de 0.81 dólares por kilogramo.

Cuadro 44. Ingresos por actividad económica en la empresa

Ingresos por ventas de biodiesel		
Cantidad (gal)	Precio venta (\$/gal)	Total ingresos (\$)
5.649	9.619,28	54.335.589
Ingresos no operacionales (glicerina)		
Cantidad (Kgs)	Precio venta (\$/Kg)	Total ingresos(\$)
2.090	1.576	3.293.840
TOTAL (\$)		57.629.429

Fuente: esta investigación

9.7. PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio es una herramienta financiera para determinar el momento en el cual las ventas de un producto cubrirán exactamente los costos, esto es igual a un volumen de ventas donde los costos totales son iguales a los ingresos totales, una forma más intuitiva de comprender el concepto es pensar en un punto en que las utilidades son iguales a cero.

Esta herramienta analiza las relaciones existentes entre el costo fijo, el costo variable y las utilidades, permitiendo establecer un punto de referencia a partir del cual un incremento en los volúmenes de venta generará utilidades, pero también un decremento ocasionará pérdidas, el mismo se puede expresar en valores, porcentaje y/o unidades. El punto de equilibrio se considera como una herramienta útil para determinar el apalancamiento operativo que puede tener una empresa en un momento determinado.

El punto de equilibrio se calcula mediante la siguiente formula.

$$P.E. = \frac{COSTOS FIJOS}{PRECIO DE VENTA - COSTO VARIABLE UNITARIO}$$

Cuadro 45. Variables para el cálculo del Punto de Equilibrio

PUNTO DE EQUILIBRIO	
Precio Venta Unitario estimado (\$)	9.619,28
Unidades vendidas (gal)	5.649
Ingreso Total (\$)	54.335.589
Costo Fijo Total (\$)	8.274.564
Costo Variable Total (\$)	31.430.172
Costo Variable Unitario (\$)	5.563,84

Fuente: esta investigación

$$\text{P.E.} = 8.274.564 / (9.619,28 - 5.563,84) = \mathbf{2.040,36 \text{ galones}}$$

$$\text{P.E.} = 2.040,36 \text{ gal} * 9.619,28 \text{ \$/gal} = \mathbf{\$ 19.626.809,42}$$

El punto de equilibrio es de 2.040,36 galones que equivalen a \$19.626.809,42, lo que quiere decir que se debe vender esta cantidad como mínimo para que la empresa opere sin pérdidas ni ganancias; por debajo de este punto la empresa genera pérdidas y por encima, percibe ganancias. Sin embargo, todas las utilidades se perciben al final de cada mes puesto que este es el periodo de almacenamiento al cabo del cual el producto se envía al cliente.

9.8. EVALUACIÓN FINANCIERA

Es un procedimiento por medio del cual se analiza los resultados que se esperan obtener y los objetivos planeados inicialmente, mediante el uso de algunas herramientas financieras específicas; el resultado de la evaluación se mide a través de distintos criterios, complementarios entre sí, las herramientas más usadas en este tipo de proyectos son el flujo de caja, TIR e identificación del VPN.

Estas evaluaciones se realizaron para evaluar la viabilidad del proyecto utilizando el formato suministrado por FONADE, para la evaluación de proyectos del fondo emprender.

9.8.1. Balance General. Este estado financiero suministra la información necesaria para evaluar el estado de la empresa mediante la caracterización y contabilización de los activos y pasivos de la empresa. .

Cuadro 46. Balance General.

BALANCE GENERAL	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Activo						
Efectivo	946.919	129.659.043	193.204.948	261.213.892	334.179.947	412.442.643
Cuentas X Cobrar	3.985.878	3.985.878	4.239.065	4.497.732	4.772.483	5.064.017
Inventarios Materias Primas e Insumos	6.189.812	6.189.812	6.582.995	6.984.689	7.411.360	7.864.094
Inventarios de Producto en Proceso	451.728	451.728	474.740	498.029	522.670	548.713
Inventarios Producto Terminado	6.775.924	6.775.924	7.121.106	7.470.432	7.840.045	8.230.702
Gastos Anticipados	1.231.934	923.950	615.967	307.983	0	0
Total Activo Corriente:	19.582.195	147.986.336	212.238.822	280.972.759	354.726.504	434.150.170
Terrenos	43.750.000	43.750.000	43.750.000	43.750.000	43.750.000	43.750.000
Construcciones y Edificios	84.814.800	80.574.060	76.333.320	72.092.580	67.851.840	63.611.100
Maquinaria y Equipo de Operación	64.551.082	58.095.974	51.640.866	45.185.757	38.730.649	32.275.541
Muebles y Enseres	27.075.000	24.367.500	21.660.000	18.952.500	16.245.000	13.537.500
Equipo de Transporte	0	0	0	0	0	0
Equipo de Oficina	3.565.000	2.852.000	2.139.000	1.426.000	713.000	0
Total Activos Fijos:	223.755.882	209.639.534	195.523.186	181.406.837	167.290.489	153.174.141
ACTIVO	243.338.077	357.625.870	407.762.007	462.379.596	522.016.993	587.324.311
Pasivo						
Impuestos X Pagar	0	37.714.971	41.625.381	45.704.683	50.073.955	54.850.595
Obligacion Fondo Empreder (Contingente)	243.338.077	243.338.077	243.338.077	243.338.077	243.338.077	243.338.077
PASIVO	243.338.077	281.053.049	284.963.459	289.042.760	293.412.033	298.188.673
Patrimonio						
Utilidades Retenidas	0	0	38.286.410	80.542.479	126.939.658	177.772.309
Utilidades del Ejercicio	0	76.572.821	84.512.138	92.794.356	101.665.303	111.363.330
PATRIMONIO	0	76.572.821	122.798.548	173.336.836	228.604.961	289.135.639
PASIVO + PATRIMONIO	243.338.077	357.625.870	407.762.007	462.379.596	522.016.993	587.324.311

Fuente: esta investigacion

En el balance general se muestra que la empresa NEODIESEL S.A.S. tiene un balance positivo en la proyección a cinco años por lo tanto puede solventar sus deudas a corto y mediano plazo, generando utilidades desde el primer año de funcionamiento.

9.8.2. Estado de Resultados. Esta evaluación permite determinar la utilidad neta y los flujos netos de efectivo del proyecto en base a los ingresos por ventas para los primeros 5 años y el estimado de costos.

Cuadro 47. Estado de Resultados

ESTADO DE RESULTADOS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	358.729.000	381.515.831	404.795.905	429.523.478	455.761.572
Devoluciones y rebajas en ventas	0	0	0	0	0
Materia Prima, Mano de Obra	148.505.836	156.790.190	165.174.029	174.044.728	183.420.510
Depreciación	14.116.348	14.116.348	14.116.348	14.116.348	14.116.348
Agotamiento	0	0	0	0	0
Otros Costos	8.984.000	9.276.381	9.555.753	9.844.156	10.141.263
Utilidad Bruta	187.122.816	201.332.912	215.949.775	231.518.246	248.083.450
Gasto de Ventas	18.056.608	18.644.254	19.205.753	19.785.404	20.382.549
Gastos de Administración	54.470.432	56.243.155	57.936.999	59.685.600	61.486.977
Amortización Gastos	307.983	307.983	307.983	307.983	0
Utilidad Operativa	114.287.792	126.137.519	138.499.039	151.739.258	166.213.925
Otros ingresos y egresos	0	0	0	0	0
Utilidad antes de impuestos	114.287.792	126.137.519	138.499.039	151.739.258	166.213.925
Impuestos (35%)	37.714.971	41.625.381	45.704.683	50.073.955	54.850.595
Utilidad Neta Final	76.572.821	84.512.138	92.794.356	101.665.303	111.363.330

Fuente: esta investigación

En el estado de resultados se puede observar que la empresa tiene utilidades netas positivas que se incrementan durante los cinco años de evaluación, debido al incremento de las unidades vendidas.

9.8.3. Flujo de Fondos de Caja. El flujo de fondos presenta el beneficio real de la operación de la empresa, este elemento permite analizar la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa.

Cuadro 48 . Flujo de Fondos de Caja.

FLUJO DE CAJA	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de Caja Operativo						
Utilidad Operacional		114.287.792	126.137.519	138.499.039	151.739.258	166.213.925
Depreciaciones		14.116.348	14.116.348	14.116.348	14.116.348	14.116.348
Amortización Gastos		307.983	307.983	307.983	307.983	0
Agotamiento		0	0	0	0	0
Provisiones		0	0	0	0	0
Impuestos		0	-37.714.971	-41.625.381	-45.704.683	-50.073.955
Neto Flujo de Caja Operativo		128.712.124	102.846.879	111.297.990	120.458.907	130.256.318
Flujo de Caja Inversión						
Variación Cuentas por Cobrar		0	-253.187	-258.667	-274.751	-291.534
Variación Inv. Materias Primas e insumos ³		0	-393.183	-401.694	-426.670	-452.734
Variación Inv. Prod. En Proceso		0	-23.012	-23.288	-24.641	-26.044
Variación Inv. Prod. Terminados		0	-345.181	-349.327	-369.612	-390.658
Var. Anticipos y Otros Cuentas por Cobrar		0	0	0	0	0
Variación del Capital de Trabajo	0	0	-1.014.564	-1.032.977	-1.095.674	-1.160.970
Inversión en Terrenos	-43.750.000	0	0	0	0	0
Inversión en Construcciones	-84.814.800	0	0	0	0	0
Inversión en Maquinaria y Equipo	-64.551.082	0	0	0	0	0
Inversión en Muebles	-27.075.000	0	0	0	0	0
Inversión en Equipos de Oficina	-3.565.000	0	0	0	0	0

Inversión Activos Fijos	-223.755.882	0	0	0	0	0
Neto Flujo de Caja Inversión	243.338.077	0	-38.286.410	-42.256.069	-46.397.178	-50.832.651
Neto Periodo	19.582.195	128.712.124	63.545.905	68.008.944	72.966.054	78.262.697
Saldo anterior		946.919	129.659.043	193.204.948	261.213.892	334.179.947
Saldo siguiente	19.582.195	129.659.043	193.204.948	261.213.892	334.179.947	412.442.643

Fuente: esta investigación

Dentro del flujo de caja se encuentra el flujo de caja operativo de la empresa, el cual muestra que la actividad económica es rentable ya que permite cubrir los gastos en los cinco años de evaluación del proyecto, además el saldo neto operativo es positivo en el mismo periodo.

El flujo de caja de inversión hace referencia a todos los recursos que se deben adquirir antes de la puesta en marcha del proyecto, por lo cual aparecen con signo negativo en el año cero.

No se presenta el flujo de caja de financiación puesto que esta debe ser financiada por otras entidades o por entidades privadas.

9.8.4. Criterios de decisión.

Cuadro 49. Criterios de Decisión

Criterios de Decisión	
Tasa mínima de rendimiento a la que aspira el emprendedor	12%
TIR (Tasa Interna de Retorno)	35,24%
VAN (Valor actual neto)	152.100.062
PRI (Periodo de recuperación de la inversión)	2,20
Duración de la etapa improductiva del negocio (fase de implementación).en meses	3 mes

Fuente: esta investigación

Tasa Interna de Retorno (TIR): la Tasa Interna de Retorno está definida como tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto es igual a cero. El valor presente neto es calculado a partir del flujo de caja anual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad.

El valor de la TIR indica la tasa de recuperación de la inversión inicial sin ninguna ganancia adicional, esto significa que el monto invertido tiene una rentabilidad del 35,24% anual.

Valor Presente Neto (VPN): es el valor monetario que resulta de la diferencia entre el valor presente de todos los ingresos y el valor presente de todos los egresos calculados en el flujo financiero neto, teniendo en cuenta la tasa de interés de oportunidad TIO. El VPN calculado para el proyecto es bastante alto, indicando que el proyecto es financieramente atractivo. Dicho valor representa el monto adicional adquirido por las operaciones tras haber recuperado la inversión inicial en base a una tasa interna de oportunidad de un 12%.

Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI): se define como el tiempo en que el inversionista puede recuperar el capital invertido. Por su facilidad de cálculo y aplicación, es considerado un indicador de toma de decisiones junto con la TIR y el VPN.

Según el análisis hecho por la aplicación de estudio financiero del Fondo Emprender, se requiere un tiempo de 2,2 años para recuperar la inversión inicial, por lo que se considera un proyecto rentable y con una buena devolución de capital.

10. ANÁLISIS DE IMPACTOS

La evaluación de impactos permite la integración de los aspectos ambientales y sociales a una actividad determinada, es un procedimiento de carácter preventivo, orientado a informar al promotor de un proyecto o de una actividad productiva acerca de los efectos que pueden generarse con su construcción.

Cabe resaltar que la finalidad de este proyecto busca dar solución a dos problemas ambientales graves que se presentan en la actualidad, como son, el manejo y disposición final de los aceites de fritura usados y el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por los combustibles fósiles, así que en general, el proyecto busca impactar positivamente el medio ambiente.

10.1 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS

A continuación se muestra una matriz desarrollada en función de las distintas etapas que comprende el proyecto, preparación del sitio, construcción y fase de operación. En cada una de estas etapas se evaluará los elementos que pueden verse afectados, según los criterios de evaluación que se muestran en el cuadro 48.

Cuadro 50. Criterios de Evaluación de Impactos

Criterio	Valor
Efecto Adverso	1
Efecto Adverso Significativo	2
Efecto Benéfico	3
Efecto Benéfico Significativo	4

Fuente: esta investigación

En la matriz que se presenta en el cuadro 49, se muestra las actividades que identifican un impacto y se cuantifica su efecto, pudiendo ser este positivo o negativo. Dicha identificación se realiza mediante el señalamiento de la intersección de la columna (actividad) y fila (elemento) correspondiente, en donde se calificarán de acuerdo a los criterios mencionados.

Cuadro 51. Matriz de Evaluación de Impactos

			Actividades previstas en las diferentes etapas del proyecto																										
			Preparación del sitio							Construcción					Operación														
			Brechas de acceso	Desmonte	Limpieza del sitio	Movimiento de equipo y maquinaria	Mano de Obra	Manejo de residuos sólidos	Cercado del predio	Emissiones a la atmósfera	Requerimiento de agua	Manejo de materiales de construcción	Levantamiento de	Obras complementarias	Movimiento del equipo	Manejo y disposición de	Mano de obra	Requerimientos de agua	Excavación	Emissiones a la atmósfera	Requerimientos de energía	Circulación vehicular	Manejo y disposición de	Mantenimiento	Mano de obra	Demanda de agua	Aguas residuales negras	Residuos domésticos	Demanda de transporte
Área Potencialmente receptora de impactos	Factores Abióticos	Agua	Superficial													1									2	1			
		Subterránea																											
	Suelo	Erosión	1															1											
		Características Físicoquímicas		1										1				1			1								
		Estructura del suelo			4													1											
	Atmósfera	Calidad del aire			1	1							1						1										
		Visibilidad		3							1																		
	Factores Bióticos	Flora	Terrestre	1		1						1	3																
		Fauna	Terrestre	1	3				1																		1		
	Factores Socio económicos	Paisaje	Relieve									1						1											
			Apariencia visual		1			1				1	1	1	1														
		Social	Bienestar social	3	3	4		4	3			3	4			4				1	1	1	4	4				3	
		Económicos	Transporte	3			4	4				4			3	3						4	3	3					4
	Empleo e ingreso regional		4	4	4	4	4	4			4	4	4	4	4	4	4	4		4	4	4	4	4				4	
	TOTALES		1	1	4	1	2	1	1		2	3	1	1	2		1	4	1	1	1	2				2			
			2																						1				
			2	4	1			1				1	1	1	1								1	1				1	
		1	1	3	2	2	2	1			2	1	2	1	1	2	1		1	2	2	2	2					2	

Fuente: esta investigación

Como se puede observar, de la matriz de impactos, resultaron 33 efectos adversos y 46 benéficos, de los cuales solamente 3 fueron adversos significativos y 31 benéficos significativos, por lo que además de contar con más efectos benéficos que adversos, la determinación de los impactos y su evaluación tiene mucho mayor peso sobre los impactos benéficos que sobre los impactos adversos, los cuales aparecen en una cantidad inferior. Los resultados se muestran en el cuadro 50.

Cuadro 52. Resultados de la evaluación de impactos

Criterio	Valor	Total
Efecto Adverso	1	32
Efecto Adverso Significativo	2	1
Efecto Benéfico	3	15
Efecto Benéfico Significativo	4	31

Fuente: esta investigación

10.2 FACTORES ABIÓTICOS.

10.2.1 Agua. El único efecto adverso significativo se presenta sobre el requerimiento de agua durante la operación de la planta, ya que este recurso se necesita en cantidad considerable en la etapa de lavado del biocombustible. Así mismo las aguas residuales tienen un efecto adverso sobre las aguas superficiales ya que contienen residuos químicos, sin embargo estas serán tratadas antes de ser vertidas a las fuentes hídricas. El agua resultante de otros procesos, incluyendo unidades sanitarias y cafetería son comparables a las de tipo doméstico.

10.2.2 Suelo. El suelo sufre modificaciones y posibles alteraciones como la erosión por causa del desmonte de la vegetación y el levantamiento de estructuras y edificaciones, sin embargo el impacto es bajo.

10.2.3 Calidad del Aire. Este factor se ve afectado durante la construcción y operación de la planta por el funcionamiento de la maquinaria y el transporte, sin embargo no es significativo puesto que los equipos no producen emisiones de gases, si no que contribuyen al calor en el ambiente y las emisiones vehiculares y por tanto no son de tipo industrial.

10.3 FACTORES BIÓTICOS

10.3.1 Fauna y flora. El impacto sobre estos factores es adverso ya que se necesita desmontar el área de construcción lo cual implica una alteración del ecosistema con la consecuente destrucción de la vegetación y el hábitat de las especies de este lugar.

10.3.2 Visibilidad. Con las adecuaciones del lugar para la instalación de la planta se mejora la visibilidad, ya que permite mayor iluminación y visualización de los alrededores del lugar.

10.3.3 Paisaje. El paisaje en cuanto a relieve y apariencia visual, sufre modificaciones ya con que la construcción y obras civiles, se observa la intervención del hombre.

10.4 FACTORES SOCIOECONÓMICOS

10.4.1 Social. En este sentido, la implementación de la unidad productiva trae beneficios y perjuicios desde el punto de vista de bienestar social. La alteración y utilización de los recursos naturales puede tener un efecto adverso en la comunidad aledaña a la planta, pero por otra parte, en cuanto al mejoramiento de las vías, demanda de transporte y servicios públicos, contribuyen a mejorar la calidad de vida de los habitantes del corregimiento.

10.4.2 Económico. En cuanto a la generación de empleo y de ingresos para la región, el aporte que hace el proyecto es muy grande, ya que contribuye a la industrialización de la región, abriendo espacios laborales tanto directa como indirectamente.

En general se observa que el impacto generado por la planta es positivo, ya que no afecta significativamente el entorno en los aspectos que se mencionaron, por el contrario favorece el medio ambiente al darle un aprovechamiento industrial a un residuo contaminante como los es el aceite de fritura usado convirtiéndolo en un combustible ecológico que a su vez impactará positivamente la calidad atmosférica y por tanto la calidad de vida del hombre.

Algunos de las operaciones durante la construcción y operación de la planta no se evaluaron ya que no implican un efecto negativo sobre los recursos y el entorno pero tampoco contribuye a mejorarlos.

11. CONCLUSIONES

Se obtuvo un biocombustible con propiedades físico-químicas dentro de los rangos aceptados por la norma. Aunque algunos parámetros deben ajustarse, en general este residuo puede considerarse una materia prima adecuada para la obtención de biodiesel.

En cuanto a la optimización de las variables del proceso, es posible obtener buenos rendimientos con bajas cantidades de alcohol, sin que las características del producto varíen significativamente, por lo tanto, las condiciones escogidas como óptimas corresponden al 35% de alcohol respecto al volumen de aceite utilizado a 50 °C.

Los cuatro análisis que se realizaron determinaron que el proyecto es factible y rentable, sin embargo la inversión inicial del proyecto es bastante alta, por lo que es necesario buscar alternativas de financiación que puedan cubrir dicho monto.

El sector de los biocombustibles aún sigue ampliándose por lo que representa una oportunidad de negocio en la que se puede incursionar, siendo necesaria mayor investigación y desarrollo del área de hidrocarburos a nivel regional.

El estudio financiero se elaboró utilizando el formato del Fondo Emprender para el análisis de planes de negocio, el cual arrojó que es altamente rentable y que la inversión inicial puede recuperarse en periodo aproximadamente de dos años.

El impacto ambiental y socioeconómico es favorable para la región, impulsa el desarrollo industrial y permite incursionar en un sector en el cual el departamento no tiene participación.

Es necesaria una reglamentación en cuanto a la disposición final de aceites residuales, ya que actualmente es el productor de este desecho quien dispone del mismo a su criterio. A futuro se espera que la legislación actúe en este sentido, beneficiando proyectos de este tipo como ya se ha hecho en otros países.

12. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el proceso de purificación de la glicerina, ya que es económico y le da un mayor valor en el mercado a este producto.

Se recomienda incluir otros aceites en el proceso, tales como el aceite de higuera, coco, algodón, entre otros, a fin de incrementar la producción, puesto que con la que se tiene no se alcanza a cubrir el 1% de la demanda de biodiesel.

De igual manera, estudiar el proceso de obtención de biodiesel a partir de grasas animales, ya que se convertiría en otra materia prima económica y una alternativa para el manejo de este residuo.

Es posible también ampliar el área de recolección de aceite para incrementar la capacidad de abastecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

AREIZA, Ricardo. Terpel el gigante colombiano. La nación. Publicado 17 de mayo de 2010. [en línea]. Disponible en: <http://www.lanacion.com.co/2010/05/17/terpel-el-gigante-colombiano/>

BAILEY, Alton E. Aceites y Grasas Industriales. Buenos Aires. Ed. Reverte. 1979

BENDECK, Jorge. Cadena de Comercialización de Combustibles Líquidos en Colombia. Federación Nacional de Biocombustibles de Colombia FENDIPETROLEO. [en línea]. Disponible en: <http://www.fendipetroleo.com>

BENJUMEA et al. Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de Transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel. Scientia et Technica Año X, No 24, Mayo 2004. UTP. ISSN 0122-1701.

BIODIESEL- BIODIESEL- NEWS COMBUSTIBLES PLANTAS DE BIODIESEL JATROPH ETANOL BIODIESEL PLANTS. Publicado 9 de mayo de 2012. [en línea]. Disponible en: www.biodiesel.com.ar

BIOMAX PROFILE. Bogotá - Colombia [en línea]. Disponible en: http://www.biomaxcolombia.com/compania_quienes.php#

BOGOTÁ D.C. ALCALDIA MUNICIPAL. PROYECTO DE ACUERDO N°. 329 DE 2009: Condiciones técnicas para el manejo, almacenamiento, transporte, utilización y la disposición de aceites vegetales de fritura usados, se crea el programa intersectorial de prevención de la contaminación y gestión ambiental de residuos de aceites vegetales de fritura usados y control de la contaminación hídrica en la ciudad de Bogotá. [en línea]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37110>

BOGOTÁ D.C. ALCALDIA MUNICIPAL. Proyecto de acuerdo N°. 329 de 2009. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37110>

CLARÍN DIGITAL. Disponible en: www.biodiesel.com.ar

CHEVRON COMPANY PROFILE. Disponible en: <http://www.chevron.com/about/leadership/>.

COMUNIDAD PETROLERA. Punto de Fluidez. Disponible en: <http://www.lacomunidadpetrolera.com/showthread.php/379-Punto-de-Fluidez>

CONVENIO INTERINSTITUCIONAL DE COOPERACIÓN UPME – INDUPALMA – CORPODIB. PROGRAMA ESTRATÉGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL - COMBUSTIBLE

AUTOMOTRIZA PARTIR DE ACEITES VEGETALES: Aspectos económicos de la implementación de la tecnología de producción de biodiesel a partir de aceite de palma. Bogotá, D.C., Enero 14 de 2003 [en línea]. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/.../Biodiesel/Capitulo%208.pdf>

COMUNIDAD PETROLERA. Punto de Fluidez. Publicado: mayo de 2010. [en línea]. Disponible en: <http://www.lacomunidadpetrolera.com/showthread.php/379-Punto-de-Fluidez>

CORPODIB. Aspectos económicos de la implementación de la tecnología de producción de biodiesel a partir de aceite de palma. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/.../Biodiesel/Capitulo%208.pdf>

DARNOKO, D. Y M, CHERYAN. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor. Journal of the American Oil Chemists Society. V. 77, No. 12, 2000.

ECOPETROL S.A. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx>

EXXON MOBIL. Fecha de actualización 12 de mayo de 2012. [en línea]. Disponible en: http://www.bnamericas.com/company-profile/es/Exxon_Mobil_Corporation-ExxonMobil

FANGRUI, Ma. Biodiesel Production: A review. BioresourceTechnologyVol 70. 1999.

FEDEPALMA. [en línea]. Disponible en: http://www.fedepalma.org/biodiesel_marco_legal.htm

INDUSTRIA PETROLERA. Determinación de la gravedad API y densidad por el método de hidrómetro y del picnómetro. Actualizado 6 de enero de 2009. [en línea]. Disponible en: <http://industria-petrolera.lacomunidadpetrolera.com/2009/01/determinacin-de-la-gravedad-api-y.html>

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) Normatividad. [en línea]. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/Normatividad/Normas-Ica/Resoluciones.aspx?page=3>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Petróleo y sus derivados. Gases licuados del petróleo, método de ensayo para determinar la corrosión a la lámina de cobre. 2da Actualización.

JANY, José Nicolás. Investigación integral de mercados: Un enfoque para el siglo XXI. 2da. Edición. Santa Fe de Bogotá. Mc Graw Hill. 2000.

LAWSON, Harry. Aceites y Grasas Alimentarios: Tecnología, Utilización y Nutrición. 2da Edición. Zaragoza. Ed. Acribia. 1999.

LENNTECH. Centrifugación y centrifugadores. [en línea]. Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/centrifugación.htm>. Consulta: Diciembre 2011

LOPEZ, María Elvira, et al. Estudio administrativo... un apoyo en la estructura organizacional del proyecto de inversión. Profesores investigadores del Instituto Tecnológico de Sonora. ITSON publicaciones. México. 2008

MACHADO, Cristina M. Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). 2010.

MENDEZ, Rafael. Formulación y evaluación de proyectos. Enfoque para emprendedores. ICONTEC Internacional. Cuarta Edición. Colombia. 2006.

MEHER L.C. et al. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 10: 248-268

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. [en línea]. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosSoporteRevistas/7766.pdf>

PETROBRAS. Disponible en: <http://www.petrobras.com/es/paises/colombia/colombia.htm>

RÍOS, Alberto Luís; CASTRILLON FRANCO, Alexander y ZULETA SUARES, Ernesto. Producción de biodiesel de aceite de palma con catalizadores básicos heterogéneos comparados con los homogéneos convencionales. Publicado 30 de noviembre de 2009. [en línea]. Disponible en: <http://www.revista.unal.edu.co/index.php/energetica/article/.../24758>

SMINK, Verónica. El biodiesel despegó en Argentina. BBC Mundo. Disponible en: http://www.bbc.co.uk/mundo/america_latina/2010/02/100223_0130_biodiesel_economia_argentina_jaw.shtml

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Elasticidad de la Demanda y la Oferta. Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4010043/lecciones/6elasticidadadofrta.htm>

UPME. Caracterización del consumo de energía de sector transporte carretero de carga y pasajeros, urbano e interurbano en Colombia. 2010

UPME. Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990 - 2010. ISBN: 978-958-8363-08-0.2009

VAN, Gerpen et al. "Biodiesel Production Tecnology".National Renewable Energy Laboratory. 2004

WEARCHECK IBERICA PROFILE. Publicado 22 de noviembre de 2010. [en línea]. Disponible en: <http://www.wearcheckiberica.es>

WHITMAN DIRECT ACTION. Biodiesel: Producción y Aplicaciones. [en línea]. Disponible en: http://www.whitman.edu/environmental_studies/internships/reports/mendezmanual.htm#fb

ZILLER, Steve. Grasas y Aceites Alimentarios. Zaragoza. Ed. Acribia. 1996

ANEXOS

ANEXO A.

MODELO DE ENCUESTA PARA RESTAURANTES, CAFETERIAS Y EXPENDIOS DE COMIDA

La siguiente encuesta busca obtener información sobre la cantidad, frecuencia y uso actual de los aceites de fritura generados por los principales establecimientos comerciales en el municipio de (Nombre del municipio, Ejemplo: Ipiales)

1. Nombre/Dirección del Establecimiento:

2. ¿Cada cuanto tiempo (días, semanas) usted descarta el aceite de fritura?

3. En este tiempo, ¿Cuál es la cantidad (litros, galones, etc.) de aceite residual que está generando?

4. ¿Qué alimentos son procesados en este aceite?

5. ¿Qué uso le da actualmente al aceite de fritura usado?

6. (Si no lo vende actualmente) ¿Estaría dispuesto a venderlo? SI___ NO___

7. ¿Cuál sería (es) el precio de venta? _____

ANEXO B.

PROCEDIMIENTOS PARA LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Materiales y Equipos: Picnómetro Gay – Lussac, Termómetro, Balanza analítica

Sustancias: 50 ml Agua destilada

Procedimiento

a) Determinación del volumen V del picnómetro:

1. Determinar mediante la balanza la masa m_0 del picnómetro vacío y seco
2. Llenar el picnómetro con agua hasta un tercio del esmerilado, dejar escapar las burbujas de aire, poner el tapón con cuidado y secar el agua que salga por el orificio. A continuación, llenar el orificio hasta arriba.
3. Determinar la masa m_1 del picnómetro lleno de agua.
4. Leer en el termómetro la temperatura ϑ del agua y extraer la densidad del agua de la tabla 1.

b) Determinación de la densidad de la muestra:

1. Limpiar con cuidado el picnómetro, llenarlo hasta el primer tercio del esmerilado con el líquido a medir, dejar escapar las burbujas de aire y, luego de poner el tapón, cuidar que el orificio esté lleno hasta arriba.
2. Determinar la masa m_2 del picnómetro lleno.

La densidad de la muestra se obtiene por la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m_2 - m_0}{V}$$

m_2 = masa del picnómetro lleno con la muestra de ensayo incluyendo el tapón esmerilado, en gramos.

m_0 = masa del picnómetro vacío y seco incluyendo el tapón esmerilado, en gramos.

v = volumen del picnómetro determinado en el procedimiento a), en ml.

Tabla 1. Densidad (masa por volumen convencional) del agua a temperaturas entre 15° y 65° C

Temperatura θ	Densidad ρ_w	Temperatura θ	Densidad ρ_w	Temperatura θ	Densidad ρ_w
°C	g/ml	°C	g/ml	°C	g/ml
15	0,998 05	35	0,992 98	55	0,984 65
16	0,997 89	36	0,992 64	56	0,984 16
17	0,997 72	37	0,992 28	57	0,983 67
18	0,997 54	38	0,991 92	58	0,983 17
19	0,997 35	39	0,991 55	59	0,982 67
20	0,997 15	40	0,991 17	60	0,982 17
21	0,996 94	41	0,990 79	61	0,981 65
22	0,996 72	42	0,990 39	62	0,981 13
23	0,996 49	43	0,989 99	63	0,980 60
24	0,996 24	44	0,989 58	64	0,980 06
25	0,995 99	45	0,989 17	65	0,97952
26	0,995 73	46	0,988 74		
27	0,995 46	47	0,988 32		
28	0,995 18	48	0,987 88		
29	0,994 90	49	0,987 44		
30	0,994 60	50	0,986 99		
31	0,994 29	51	0,986 54		
32	0,993 98	52	0,986 07		
33	0,993 65	53	0,985 61		
34	0,993 32	54	0,985 13		

Fuente: NTC 336. Grasas y Aceites Animales y Vegetales. Método de la determinación de la Densidad

ÍNDICE DE ACIDEZ

Materiales y Equipos

Beacker 200 ml, Matraz 150 ml, Estufa ó plancha eléctrica, Bureta 50 ml, Pipeta 25 ml

Sustancias

10 g Muestra, 200 ml Etanol 95%, 2 ml de Fenolftaleína, 50 ml de Solución NaOH 0,1 N

Procedimiento

1. Pesar 5 gramos de muestra en el matraz
2. Calentar 50 ml de etanol 95% hasta temperatura de ebullición
3. Mezclar la muestra con el alcohol caliente y añadir 0,5 ml de fenolftaleína

4. Mientras la temperatura del etanol esta aún sobre 60° C se neutraliza cuidadosamente con solución de NaOH 0,1 N hasta que el color rosa persista al menos por 30 segundos.

*Se realizarán 2 determinaciones en la misma muestra de ensayo.

El índice de acidez se obtiene por la siguiente fórmula:

$$I.A = \frac{40 * (V_m - V_b) * N}{Q}$$

Donde, V_m = volumen (mL) de NaOH gastado en la titulación de la muestra
V_b = volumen (mL) de NaOH gastado en la titulación del blanco
N = normalidad del NaOH
Q = peso de la muestra (g)

ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN

Materiales y Equipos

Erlenmeyer 250 ml, Condensador de reflujo, Estufa ó plancha eléctrica, Bureta 50 ml, Pipeta 25 ml

Sustancias

5 g Muestra, 100 ml Solución alcohólica NaOH 0,5 N, 5 ml de Fenolftaleína, 50 ml de HCl 0,5 N, núcleos de ebullición

Procedimiento

1. Pesar 2 g de muestra en un matraz cónico ó erlenmeyer.
2. Añadir 25 ml de solución alcohólica de KOH y algunos núcleos de ebullición.
3. Conectar el condensador de reflujo con el matraz y someter a una calentamiento suave por media hora aproximadamente ó hasta alcanzar una ligera ebullición. Agitar esporádicamente.
4. Añadir 1 ml de fenolftaleína y titular en caliente con HCl 0,5 N hasta que desaparezca el color rosa indicador.

5. Ensayo en blanco: A 25 ml de sln alcohólica de KOH se agrega 1 ml de fenolftaleína, se somete a calentamiento y se valora con HCl 0,5 N hasta que desaparezca el color rosa indicador.

*Se realizarán 2 determinaciones en la misma muestra de ensayo.

El índice de saponificación se obtiene por la siguiente fórmula:

$$I_s = (V_0 - V_1) \cdot C \cdot 56,1 / m$$

V_0 = volumen de ácido gastado en el blanco

V_1 = volumen de ácido gastado en la muestra

C = concentración del ácido clorhídrico

m = masa de la muestra en gramos

ÍNDICE DE YODO

Materiales y Equipos

Erlenmeyer de 200 ml con tapa de vidrio, Beacker 200 ml, Bureta 50 ml, Pipeta 25 ml

Sustancias

2 g Muestra, 40 ml Cloroformo, 50 ml Yodo 0.2 M en ácido acético glacial, 40 ml Yoduro de Potasio 150 g/l (15%), 60 ml Tiosulfato de Sodio, 2 ml Solución de almidón, 200 ml Agua destilada

Procedimiento

1. Pesar 1 gramo de muestra y disolver en 20 ml de cloroformo en un erlenmeyer con tapa de vidrio
2. Añadir 20 ml de solución de yodo en ácido acético y dejar reposar por 30 minutos en un lugar fresco y oscuro
3. Luego añadir 20 ml de Yoduro de potasio, agitar y lavar con 100 ml de agua destilada
4. Titular con tiosulfato de sodio 0,1 N hasta obtener una coloración amarilla
5. Añadir 0,5 ml de almidón y continuar la titulación hasta que el color azul desaparezca después de una agitación vigorosa

6. Ensayo en blanco: Se prepara el blanco con las mismas cantidades de cloroformo y solución de yodo en ácido acético, omitiendo la muestra de ensayo. Se realiza el mismo procedimiento.

El índice de yodo esta dado por la siguiente fórmula:

$$I_Y = (V_1 - V_2) \cdot C \cdot 12,69 / m$$

V_1 = volumen de tiosulfato de sodio gastado en el blanco

V_2 = volumen de tiosulfato de sodio gastado en la muestra

C = concentración del tiosulfato de sodio

m = masa de la muestra en gramos

ANEXO C.

REPORTE DE RESULTADOS UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA <small>SEDE BOGOTÁ</small>	REPORTE DE RESULTADOS	Código: FAR-001
	LABORATORIO DE CRUDOS Y DERIVADOS	Versión: 01
		Solicitud: 093

Fecha

2012	03	28
------	----	----

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
SOLICITUD DE SERVICIO N° : 2389
EMPRESA: CHAMORRO PORTILLAS S. A. S.
SOLICITANTE: MONICA E. BELTRAN
DIRECCIÓN: CARRERA 44B No. 19-56
CIUDAD: PASTO

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA
PRODUCTO: DIESEL
CODIGO: ---
FECHA DE RECEPCIÓN: 2012/03/13

INFORMACIÓN DEL MUESTREO (Información suministrada por el cliente)	
LUGAR: NO INFORMA	
FECHA: NO INFORMA	
HORA: NO INFORMA	
PUNTO: NO INFORMA	
TANQUE: NO INFORMA	
RESPONSABLE: NO INFORMA	REGISTRO

ANÁLISIS	UNIDADES	NORMA	RESULTADO	ESPECIFICACION	
				MIN	MAX
AGUA Y SEDIMENTOS	% Vol	ASTM D 96	0,0	N/A	
CORROSION LAMINA DE COBRE, 2h a 100 °C	N/A	ASTM D 130	1A	N/A	
DESTILACION		ASTM D 86			
Punto Inicial de ebulición	°C		307,5	N/A	
50% recobrado	°C		334,0	N/A	
90% recobrado	°C		350,5	N/A	
Punto Final de ebulición	°C		364,5	N/A	
Recobrado	°C		98,0	N/A	
Residuo	% Vol		1,2	N/A	
Pérdida	% Vol		0,8	N/A	

GRAVEDAD API a 60°F (15,56 °C)	N/A	ASTM D 267	27,4	N/A
INDICE DE CETANO	N/A	ASTM D 976	44,13	N/A
PODER CALORIFICO	BTU / Lb (KJ/kg)	ASTM D 240	16901 (39304)	N/A
PUNTO DE INFLAMACION (PENSKY - MARTENS)	°C	ASTM D 93	131,0	N/A
PUNTO DE FLUIDEZ	°C	ASTM D 97	0,0	N/A
PUNTO DE NUBE	°C	ASTM D 94	11,0	N/A
RESIDUO CARBONOSO CONRADSON	% P/P	ASTM D 189	1,7	N/A
VISCOSIDAD CINEMATICA	cSt	ASTM D 445	5,826	N/A

CONVENCIONES:

N/A = NO APLICA

J= julio

cSt = centistokes

OBSERVACIONES:

*Los resultados presentados en este reporte solo aplican para la muestra analizada

*Se prohíbe la copia, reproducción o distribución de este reporte sin la autorización por escrito del Laboratorio.

*El informe no tiene validez sin la firma del coordinador técnico

Alirio Yobany Benavides Chaves
Coordinador Técnico



Firma

ANEXO D.

REPORTE DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

Señores:

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
San Juan de Pasto

Informe: BIODIESEL como combustible.

El día 15 de marzo del 2012, se presentó al SENA, la estudiante Mónica Elizabeth Beltrán Ceballos, estudiante de la Universidad de Nariño, gestora del proyecto: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA DE PRODUCCION DE BIODIESEL, APARTIR DE ACEITE FRITURA USADO EN LA CIUDAD DE PASTO.

El biodiesel se ensayo en una planta LISTER con motor diesel de dos pistones, ubicada en la unidad de ganadería del centro Agroindustrial del Sena Nariño a la cual se le suministró el combustible y trabajó por espacio de media hora (30 minutos) presentando los siguientes resultados:

- El motor encendió con facilidad.
- El motor funciona perfectamente, sin cascabetear.
- Al funcionar el motor, se observa ausencia de humos en el escape.
- El motor trabajo normalmente, la temperatura del sistema de refrigeración fue normal, no presentó aumento.

Para dar un diagnostico más exacto se debe desarmar gran parte de ella como: inyectores, bomba de inyección, culata, válvulas y pistones para verificar su estado por estar estos dispositivos y elementos en contacto directo con el BIODIESEL, además se debe tener un recipiente donde se pueda medir el consumo (gal/hora) y comparar con el combustible normal A.C.P.M.

Atentamente,

Francisco Andrés Villota Arce.
Instructor Mecánica Diesel SENA Nariño
Ingeniero Industrial